

de origen animal, originan sustancias residuales que pueden causar la contaminación de las aguas residuales.

En los Estados Unidos, el Environmental Protection Agency (EPA) consideró necesario exigir que los desechos provenientes de fincas que producen a gran escala (es decir, aquéllas que excedan una determinada capacidad: 750 vacas lecheras; 10 000 ovejas; 55 000 pavos; 50 000 patos; 100 000 gallinas o pollos) sean purificados cuando se produce estiércol líquido. Incluso, se han establecido límites para la industria pesquera puesto que una cantidad excesiva de pescado puede contaminar el agua.

Hasta el momento se han descrito diversos procesos de producción. Seguidamente presentamos otros procesos especiales, necesarios para la fabricación de algunos productos importantes.

#### 2.4.2.10.1.1 Aguas residuales provenientes de la producción de pectina

Las pectinas o materias primas pécticas son sustancias que se tornan transparentes y gelatinosas cuando se humedecen por completo. En la industria procesadora de alimentos, suelen utilizarse las pectinas para la producción de confituras, jaleas, dulces, etc; igualmente se les emplea en la industria textil.

La pectina se encuentra en muchas plantas, como es el caso de las frutas y la remolacha. Existen pectinas de tipo soluble e insoluble; estas últimas pueden, sin embargo, disolverse cociéndolas en agua ligeramente ácida.

En muchos países se obtienen las pectinas de la pulpa de manzana, la cáscara de cítricos y la pulpa seca de remolacha. La pulpa de manzana contiene aproximadamente de 8 a 16% de pectina, la pulpa seca de remolacha alrededor de 27% de pectina, con relación a la materia sólida seca. La extracción de la pectina y la producción de confituras suelen realizarse en una misma fábrica.

La pectina se disuelve a partir de la materia prima mediante hidrólisis en ácido diluido caliente. Primero se lava la materia prima en agua tibia (de 34 a 40°C), lo que permite que los sólidos solubles (tales como azúcares, sales, sustancias curtientes y colorantes, al igual que pectinas descompuestas que ya no pueden tornarse gelatinosas) se disuelvan en el agua. Esta solución es descargada como agua residual o, en el caso de las manzanas, puede ser evaporada y utilizada en la producción de jarabe de manzana. El producto se deshidrata en prensas de filtros y luego es absorbido en una cantidad de agua caliente de aproximadamente 10 veces su volumen; se le agrega ácido (láctico, cítrico o sulfúrico) y, finalmente, se hidroliza a una temperatura de 50 a 100°C. La decocción obtenida es desgasificada y centrifugada; el color se elimina con carbón activado o gel de sílice; se trata luego con enzimas que descomponen el almidón y, finalmente, se filtra.

Las aguas residuales que resultan de los procesos de producción de pectinas son: aguas de lavado, condensados, decocción libre de pectinas proveniente del proceso de precipitación, y aguas de lavado. El volumen de estos desechos es relativamente pequeño, alcanzando sólo una mínima cantidad de m<sup>3</sup> por día en fábricas de mediana capacidad, sin considerar los condensados.

En la Figura 2.4.-22 se muestra un gráfico de la extracción de pectinas.

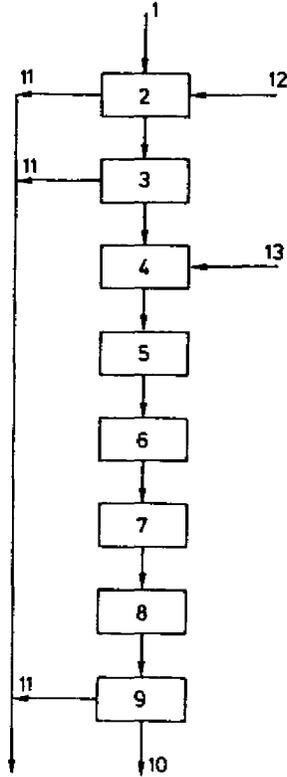


Figura 2.4.-22: Gráfico de la extracción de pectinas

- |  |                      |
|--|----------------------|
| 1. Materias primas                             | 8. Filtrado          |
| 2. Lavado                                      | 9. Secado            |
| 3. Filtrado                                    | 10. Pectina          |
| 4. Hidrólisis                                  | 11. Aguas residuales |
| 5. Centrífuga                                  | 12. Agua tibia       |
| 6. Eliminación del color con carbón activado   | 13. Agua ácida       |
| 7. Conversión del almidón en sustancia soluble |                      |

#### 2.4.2.10.1.2 Aguas residuales provenientes de la fabricación de cuerdas de tripa y de plantas procesadoras de tripa

Las tripas de ovejas, perros, gatos y otros animales pequeños se emplean en la fabricación de cuerdas de tripa. Para ello, las tripas se remojan durante un día en agua con soda cáustica ( $\text{NaOH}$ ,  $\text{KOH}$ ), soda ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) o potasa ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ). Las tripas son enrolladas luego, varias veces, para separar los

tejidos exteriores; posteriormente se trenzan en cuerdas. Este proceso, normalmente, va seguido de un baño de vapor con anhídrido sulfuroso, el cual sirve para esterilizar y blanquear. El proceso final consiste en suavizar las tripas con piedra pómez y aceite. Al transformar las tripas finas de oveja o cabra en hilo quirúrgico, deben remojar las mismas, en soluciones desinfectantes. Las tripas de animales más voluminosos (como en el caso de los terneros, etc.) las cuales se emplean, entre otras cosas, para la fabricación de embutidos, se lavan con agua en forma similar.

El volumen de aguas residuales resultante de estos procesos suele ser pequeño. Sus composiciones y características son similares a las aguas residuales provenientes de los mataderos.

El pelo de los animales (con excepción de la lana de oveja), las cerdas y las plumas, se utilizan para confeccionar pieles, tapizar muebles, fabricar colchones, fieltro, alfombras, sombreros, cepillos y cubrecamas de plumas. Antes de ser procesados, se les prepara a través del lavado, hervido, y algunas veces, el teñido y otros procesos donde se utiliza agua. Las plumas naturales suelen estar contaminadas con excrementos, sangre y cañones manchados, restos de piel, etc., y son enviadas a las fábricas de cubrecamas sin ningún tratamiento preliminar. Al lavarlas, no se acostumbra agregar un desinfectante especial al agua. En consecuencia, es posible que los desechos de estas fábricas contengan gérmenes - sobre todo en los casos de peste y cólera de las aves de corral -, puesto que las plumas se recolectan ya secas, de granjas infectadas, y se embalan simplemente en sacos herméticos.

La cantidad, composición y propiedades de estos desechos varían mucho de acuerdo al tipo de fábrica; de modo que no es posible proporcionar datos válidos para casos generales. Cabe señalar, sin embargo, que los desechos podrían estar infectados con esporas de ántrax cuando se procesa materia importada. Por esta razón es importante aplicar las mismas medidas de higiene pública que en el caso de la industria de la curtiembre.

#### 2.4.2.10.1.3 Utilización de excretas animales

Existen las siguientes posibilidades para el empleo de los excrementos, sin considerar su origen animal:

- Fertilizantes, incluyendo el mantillo,
- Forraje, ya sea directamente (fresco o seco) o después de un tratamiento mediante procesos biológicos, químicos y físicos,
- Utilización de los sólidos en la industria,
- Producción de combustible,
- Combustión.

El uso de métodos industriales en la producción ganadera implica la producción de grandes cantidades de excremento. Esto dificulta su uso como fertilizante.

Existe un límite para la cantidad de abono semilíquido que puede esparcirse en una tierra cultivada. Diversos autores señalan como cantidad normal la cifra de 40 a 50 t por ha; las cantidades muy elevadas han provocado daños. A pesar de ello, una gran parte del excremento se empleará en el futuro como fertilizante, ya sea tratado o no.

Como un ejemplo de la cantidad de excremento y desecho concentrado resultantes de la producción de aves de corral, se puede considerar representativos los valores proporcionados en los Cuadros 2.4.-76 y 2.4.-77 (HENNIG y POPPE /68/).

CUADRO 2.4.-76  
EXCREMENTO RESULTANTE DE LA PRODUCCION AVICOLA  
- CRIANZA EN GALPONES /68/

	Semanas	Cantidad, en kg
Crianza de pollas tiernas	de 0 a 8	1,3
	de 0 a 18	5,8
Engorde de pollos	de 0 a 8	1,8
Engorde de pavos	de 0 a 16	23
	de 0 a 24	35
Engorde de patos	de 0 a 8	17
Engorde de gansos	de 0 a 9	43

CUADRO 2.4.-77  
DESECHO RESULTANTE DE LA PRODUCCION AVICOLA  
- CRIANZA LIBRE /68/

	Semanas	Cantidad, en kg
Crianza de pollas tiernas (= 9 aves/m <sup>2</sup> )	de 0 a 18	3,5
Engorde de pollos (= 18 aves/m <sup>2</sup> )	de 0 a 8	1,2
Engorde de pavos (13 aves/m <sup>2</sup> ) ( 8 aves/m <sup>2</sup> )	de 0 a 8	4,5
	de 9 a 15	8,5
	de 16 a 22	10,0

2.4.2.10.2 Aguas residuales provenientes de las plantas de disposición de desechos de animales

Las materias primas de las plantas de disposición de desechos de animales están constituidas por restos de animales muertos y productos animales; los cuales, debido a circunstancias especiales (desechos de los mataderos, enfermedades, epidemias, accidentes, putrefacción), deben ser desechados. Los productos que se obtienen de estas materias primas son la harina de carne y la grasa.

Por razones de higiene, la materia prima debe calentarse y agitarse constantemente hasta quedar desintegrada. Luego, debe mantenerse por lo menos 20 minutos a una temperatura mínima de 133°C y a una presión de  $3.10^3$  Pa. Esto se realiza por etapas, en recipientes presurizados (autoclaves). El tiempo transcurrido entre el relleno y el vaciado es de 1,5 a 4 horas, según sea la materia empleada. Toma más tiempo cuando ésta contiene mucho líquido, especialmente sangre, y menos tiempo cuando se trata de huesos.

Después del proceso de cocción, la sustancia cocida se vacía en recipientes que funcionan como amortiguadores y ecualizadores entre los desecadores, los cuales operan intermitentemente. Después de la deshidratación se pasa al desgrasado. Este proceso proporciona un alimento de mejor calidad y un mayor rendimiento dado que se emplean soluciones colagenosas, las cuales se descargan como aguas residuales en el proceso húmedo. En los "sistemas húmedos", la masa hervida primero es desgrasada y luego deshidratada. El desgrase puede realizarse mecánicamente (mediante centrífugas, prensas hidráulicas, exprimidores de tornillo sinfín) o químicamente por extracción, utilizando solventes (como bencina o tetracloroetano).

En algunas plantas, la materia prima es removida mediante un baño de grasa caliente en un proceso continuo, durante el cual es calentada, deshidratada y, finalmente, desgrasada.

El vapor de la cocción, o de la liberación de presión en el caldero, así como del subsecuente proceso de secado, forma condensaciones que, a su vez, producen aguas residuales altamente contaminadas y de olor desagradable. El volumen de los condensados fluctúa entre 0,43 y 0,7 m<sup>3</sup>/t de materia prima. Los valores inferiores se atribuyen a la materia mayormente ósea. Los condensados contienen grandes cantidades de amoníaco, sulfuro oxigenado, ácidos orgánicos, aminas, aldehídos, cetonas y tioles.

Se registraron los siguientes valores para condensados diluidos:

pH	7,1 - 9,6
DQO	4 480 - 39 210 mg O <sub>2</sub> /l
DBO5	3 342 - 31 926 mg O <sub>2</sub> /l
Nitrógeno amoniacal	250 - 4 300 mg N/l

Existen también desechos contaminados provenientes del lavado de los vehículos de transporte, de los mataderos de las instalaciones sanitarias y de la limpieza de talleres, máquinas y zonas de tránsito.

En las plantas de disposición de desechos de animales es posible reducir la contaminación de las aguas residuales de la siguiente manera:

- Recolectando la materia prima de su fuente en forma rápida y procesándola mientras aún está fresca. Esto debe hacerse especialmente en climas cálidos pues tiende a descomponerse rápidamente, provocando una mayor contaminación de las aguas residuales, medida en términos de la DQO, DBO<sub>5</sub> y los compuestos nitrogenados.
- Manteniendo una provisión de repuestos, para que así las reparaciones puedan efectuarse rápidamente cuando sea necesario. Incluso, se puede tener en reserva agregados completos, listos para su uso inmediato, para que la materia prima pueda ser procesada en el estado más fresco posible.
- Evitando que la sangre y otros líquidos altamente contaminados lleguen a incorporarse a las aguas residuales, sin antes haber pasado por las plantas de cocción y secado.

La cantidad de aguas residuales y contaminantes producidos por t de materia prima está sujeta a considerables fluctuaciones. A través de múltiples análisis realizados en la salida de una planta de disposición de desechos de animales, que procesa aproximadamente 200 t de materia por día, se obtuvieron los siguientes valores promedio por t de materia prima para la cantidad total de agua residual (vapores más desechos sanitarios y de limpieza):

Cantidad de agua residual	3,21 m <sup>3</sup> /t
Sustancias sedimentables, después de 2 h.	48,2 l/t
DQO después de la sedimentación	21,98 kg O <sub>2</sub> /t
DBO <sub>5</sub> después de la sedimentación	14,95 kg O <sub>2</sub> /t
DBO <sub>5</sub> total	15,25 kg O <sub>2</sub> /t
Nitrógeno amoniacal	2,46 kg N/t
Fósforo total	0,055 kg P/t

Para la DBO<sub>5</sub> total se determinaron valores específicos por producto de 3,3 a 21,8 kg O<sub>2</sub>/t de materia prima.

Las plantas de disposición de desechos de animales generalmente están ubicadas cerca de aguas receptoras con flujo reducido y, debido a la contaminación ambiental que producen, suelen estar alejadas de cualquier otra construcción. Por este motivo, deben tratar sus aguas residuales ellas mismas y evitar que sean mezcladas con otras.

#### 2.4.2.10.3 Aguas residuales provenientes de la producción de harina de pescado

En la producción de harina de pescado se procesa carne y restos de pescado transformándolos en aceite y alimento para ganado (harina de pescado) de fácil digestión. La materia prima empleada proviene principalmente del pescado que no puede ser comercializado para consumo humano. Se trata, en gran parte, de las sobras de la venta al público o pescado que se ha dañado o descompuesto durante el transporte. La otra fuente de materia prima son los desechos resultantes de las plantas de ahumado o fritura de pescado y las fábricas de marinado de pescado.

En muchos países en desarrollo, las fábricas de harina de pescado se encuentran casi exclusivamente en las zonas bajas, cerca a los estuarios de los ríos, o a las orillas de lagos o del mar. La existencia de playas y zonas balnearias plantea grandes dificultades para la disposición de las aguas residuales.

La materia prima se procesa continuamente: recolección en los depósitos de los barcos, trituración mecánica, desintegración mediante la cocción en cilindros de agua hirviente, extracción del agua por prensado o centrifugado y, por último, deshidratación para obtener la harina de pescado. Se realiza, además, la recuperación del aceite a partir de la porción líquida del agua del prensado, o mediante extracción de la harina de pescado deshidratada.

La composición química cuantitativa y cualitativa de las diversas clases de agua residual, por lo general, sólo sufre ligeras fluctuaciones. Sin embargo, existen diferencias sustanciales en la concentración, debido a la variedad de procedimientos utilizados.

La cantidad de agua residual puede llegar a los 30 ó 50 m<sup>3</sup> por t de materia prima procesada, de las cuales, sólo un m<sup>3</sup> por t de materia prima está constituida por desechos de animales procesados, agua viscosa y condensados de vapor (sin incluir el agua de refrigeración). En consecuencia, cuando se descargan los desechos, éstos se diluyen de 30 a 50 veces, por que sólo se encuentran ligeramente contaminados.

En el Cuadro 2.4.-78 se presenta la composición de las aguas residuales totales provenientes de dos plantas de harina de pescado, según MEINCK /107/. En la planta 1, las aguas del prensado fueron tratadas con procedimientos de recuperación anticuados, mientras que en la planta 2, se las trató con dispositivos de espesamiento.

CUADRO 2.4.-78  
COMPOSICION DE LAS AGUAS RESIDUALES TOTALES PROVENIENTES DE  
PLANTAS DE HARINA DE PESCADO /107/

	1	2
Total de sólidos suspendidos	1718	617
Pérdida por ignición mg/l	1626	575
Grasa, mg/l	2540	1253
Residuo seco, mg/l	3692	900
Pérdida por ignición, mg/l	1982	470
Cloruros (Cl), mg/l	880	212
Nitrógeno total, mg/l	689	126
Nitrógeno amoniacal, mg/l	568	78
Nitrógeno orgánico, mg/l	121	48
Consumo de permanganato, mg/l	957	369
pH	6,3	6,1

## 2.5 AGUA PLUVIAL

El agua pluvial, que proviene de todo tipo de precipitación, es uno de los componentes más importantes de las aguas residuales que debe ser drenado mediante el sistema de alcantarillado.

El volumen de las aguas pluviales suele ser 10 veces mayor que el de las aguas residuales domésticas; en un sistema de alcantarillado unitario esto constituye un factor decisivo al determinar las dimensiones de las alcantarillas. También puede ser una razón para elegir un sistema de alcantarillado independiente: el llamado desagüe pluvial.

La cantidad de aguas pluviales y su grado de contaminación deben medirse con exactitud a fin de proveer las instalaciones adecuadas para desaguar las mismas.

### 2.5.1 Tipos de precipitación

El agua de las precipitaciones a ser desaguada puede provenir de diversas fuentes, por ejemplo, la lluvia, la nieve, el rocío, el granizo, la neblina y la helada. Estas formas dependen de las circunstancias meteorológicas y topográficas.

La precipitación varía ampliamente en densidad, duración y frecuencia, de acuerdo a la situación geográfica y la época del año. Por ejemplo, puede producirse una lluvia de gran intensidad y poca duración o una ligera llovizna que continúe durante varios días. De la misma forma existen países en donde

llueve normalmente casi todos los días (en la región ecuatorial), y otros países o regiones en donde no se registra ni una gota de lluvia durante meses enteros.

De todos los tipos de precipitación, la lluvia es el factor determinante en el diseño de los sistemas de alcantarillado. La experiencia confirma que un sistema de alcantarillado lo bastante amplio para contener el agua pluvial podrá también contener el agua resultante de la nieve derretida.

Por otro lado, de todos los tipos de lluvia, sólo son significativos aquéllos que provienen de nubes cúmulo (cb o tormenta) o nimbo (ns o estrato). La precipitación más copiosa proviene principalmente, de las nubes cumulonimbos, las cuales pueden contener uno o más térmicos.

La precipitación puede variar de intensidad en una misma localidad. No obstante, en algunos casos, su intensidad y duración pueden ser extremas. Esto se conoce como precipitación "histórica" máxima o lluvia "catastrófica". Por lo general, este tipo de lluvias no se considera como base para el diseño de sistemas de alcantarillado. Sólo se toman en cuenta los tipos de precipitación que no exceden ciertos parámetros regulares; es la lluvia denominada "precipitación de diseño".

En líneas generales, se ha establecido que la precipitación en un lugar no siempre es la misma. Puede fluctuar cuantitativa y cualitativamente. Las fluctuaciones cuantitativas, debidas a la superficie donde cae la lluvia se obtienen de la cantidad de precipitación calculada en una unidad específica de tiempo y de área de desagüe, de la duración total de la precipitación, etc. Las fluctuaciones cualitativas se determinan según el tamaño de las gotas, la distribución de la lluvia sobre el área de desagüe, etc.

A fin de comparar los diferentes tipos de lluvia y tener una base para la precipitación de diseño o para las dimensiones correspondientes de las alcantarillas, se han definido las propiedades características de la lluvia. En lo referente al diseño de las alcantarillas, dichas propiedades son: intensidad, duración y frecuencia (promedio).

La intensidad o grado de precipitación es la profundidad de la precipitación sobre una superficie horizontal durante un intervalo específico.

$$i = \frac{D}{T} \quad [\text{mm/min}]$$

donde:

i = intensidad de la precipitación, establecida a través de las observaciones, en mm/min

D = profundidad de la precipitación, en mm

T = duración de la precipitación, en minutos

Sin embargo, para el diseño del sistema de alcantarillado, esta definición no resulta aplicable pues tendría que ser convertida a su equivalente en l/(s.ha). Por lo tanto, se emplea la precipitación por segundo por área:

$$r = \frac{D(\text{mm}) \cdot 10000 \text{ (l/mm.ha)}}{T(\text{min}) \cdot 60(\text{s/min})} = 166,7 \cdot \frac{D}{T} = 166,7 \cdot i \quad \{\text{l/(s.ha)}\}$$

La duración es el tiempo transcurrido entre el inicio y el final de la precipitación.

La frecuencia n es el factor que indica la frecuencia anual con que se alcanza o excede la precipitación de intensidad i, como promedio obtenido en base a muchos años. El valor recíproco  $Z = 1/n$  da el número de años en los que puede producirse una lluvia de intensidad determinada i en base al promedio obtenido.

#### 2.5.2 Contaminación del agua pluvial

Antes solía pensarse que el agua pluvial era limpia o que prácticamente no contenía contaminantes. Se la consideraba, por tanto, como un diluyente del agua contaminada en el sistema de alcantarillado. Así, el agua pluvial podía normalmente ser descargada en aguas receptoras sin recibir un tratamiento previo. Sin embargo, muchos análisis han demostrado que esta idea era errónea, y que el agua pluvial, durante los primeros minutos de la precipitación, está más contaminada que las aguas residuales domésticas.

El agua pluvial está contaminada por:

- impurezas atmosféricas, e
- impurezas de la superficie del suelo.

##### 2.5.2.1 Impurezas atmosféricas

Entre las impurezas atmosféricas se encuentran el polvo, las emisiones de combustión, excrementos animales, bacterias, etc.

Aún no ha sido comprobada la relación entre las sustancias nocivas de la atmósfera y la consiguiente contaminación de las aguas pluviales. Ni aun estableciendo un balance en base a las fuentes individuales de emisión podría obtenerse un resultado válido. De acuerdo al método de medición, se pueden calcular valores entre 35 y 600 kg/(ha.a) de partículas descendentes.

En el Cuadro 2.5.-1 se resumen los valores contaminantes en aguas pluviales según KKAUTH /88/.

CUADRO 2.5.-1  
VALORES CONTAMINANTES EN AGUAS PLUVIALES /88/

Contaminantes	Concentración en aguas pluviales, en mg/l		
	1*	2*	3*
Sustancias filtrantes	7,0	12,5	3,5
DQO	18,7	25,6	-
NH <sub>3</sub>	1,26	1,58	0,60
P - Total	0,10	0,26	0,031
Cadmio	0,0008	0,001	0,003
Cromo	0,0019	0,002	-
Cobre	0,021	0,012	0,007
Plomo	0,031	0,110	0,067
Zinc	0,12	0,08	0,06

1\* según KRAUTH /../

2\* según GÖTTLE /../

3\* según DAUBER /../

Además de las partículas de polvo, la atmósfera se ve afectada en alto grado por emisiones de gas de la combustión, proveniente especialmente de las plantas de energía carbonífera. El anhídrido sulfuroso, SO<sub>2</sub>, torna a la lluvia tan ácida (debido a la formación de ácido sulfúrico) que en muchos países ha producido daños a las construcciones, ha tornado los suelos y superficies demasiado ácidos y se ha convertido en un peligro para la salud humana.

#### 2.5.2.2 Impurezas de la superficie del suelo

La contaminación de las aguas pluviales a través de la superficie del suelo puede deberse a:

- Causas relacionadas con el tránsito vehicular, como por ejemplo, los desechos, la sal colocada en las vías en invierno, la abrasión de las superficies de los caminos o de los neumáticos de los vehículos, las emisiones y pérdidas de aceite producidas por los motores de los mismos, el desgaste de los forros de freno y los componentes metálicos.
- Causas no relacionadas con el tránsito vehicular, tales como la vegetación, excrementos de animales, polvo proveniente de los suelos.

Los desechos, producidos por los peatones, conductores y otras personas que participan en el tránsito urbano consisten en: material de embalaje, restos de frutas y hortalizas, basura liberada durante la disposición de desechos domésticos, desechos provenientes de las zonas en construcción, de las obras viales, dependiendo de la construcción y el diseño de los caminos, etc.

Despeje vial en invierno, se realiza con sal en una proporción de 15 a 40 g/m<sup>2</sup>, o de preferencia con un material desintegrador, en cuyo caso se esparcen entre 70 a 300 g/m<sup>2</sup>. Esto equivale a una cantidad de 600 g/m<sup>2</sup> de sal durante cada estación invernal. Con el fin de reducir la contaminación ambiental, en muchas ciudades se limpia la nieve de las calles y demás vías sin hacer uso de la sal.

Abrasión de las superficies viales, debido a la afluencia del tránsito, la abrasión crea grandes cantidades de polvo muy fino. El desgaste anual de las superficies de las autopistas es de aproximadamente 1,0 mm (SARTOR/BOYL /..). Esto equivale a unas 17 t/(ha.a). Las vías urbanas de 7,5 m de ancho producen una abrasión estimada en 0,66 kg por m<sup>2</sup> durante el verano.

En el Cuadro 2.5.-2 se muestra la cantidad de abrasión en las autopistas principales, tomando como ejemplo las vías del norte y sur de Alemania, cuyas superficies son de concreto bituminoso. El tránsito de estas vías es de diferente intensidad (BEECKEN /88/).

CUADRO 2.5.-2  
ABRACION DE LAS AUTOPISTAS EN EL NORTE Y SUR DE ALEMANIA,  
CUYAS SUPERFICIES SON DE CONCRETO BITUMINOSO,  
EXPRESADA EN MILIMETROS /88/

	Volumen de tránsito automóviles/24 h	Abrasión en milímetros	
		Verano 70	Invierno 70/71
Carretera Federal, norte de Alemania	7 500	0,3 - 0,8	0,5 - 1,0
Carretera Federal, norte de Alemania	4 500	0,1 - 0,3	0,5 - 0,6
Carretera Federal, sur de Alemania	5 000	0,5 - 0,7	1,5 - 1,7
Autopista, sur de Alemania	9 000	0,5 - 1,0	1,7 - 6,7
Autopista, sur de Alemania	18 000	0,4 - 0,6	5,9 - 6,7

La abrasión de neumáticos de vehículos es equivalente a una pérdida de 0,03 g/kilómetro-neumático recorrido o de 0,12 g/kilómetro-vehículo recorrido. Con un tránsito de 1000 vehículos/día, la cantidad diaria de abrasión de neumáticos es de 0,12 kg por kilómetro de carretera. La DBO<sub>5</sub> producida por ello es mínima, pero la DQO es elevada.

Emissiones y pérdidas de aceite producidas por los vehículos motorizados. Su ingreso en el ambiente ocurre a través de los tubos de escape, en forma de partículas y gases. La emisión anual promedio de partículas (principalmente hollín, alquitrán y sus derivados) producida por un vehículo motorizado es de 2 kg. La cantidad anual de gases, es decir, óxidos de nitrógeno NO, NO<sub>2</sub>, es de 10 kg y la cantidad anual de hidrocarburos no quemados es de 38 kg por vehículo. Los gases nitrosos se oxidan en la atmósfera y se disuelven parcialmente con las aguas pluviales. Los hidrocarburos orgánicos gaseosos se combinan con las partículas y son absorbidos parcialmente por las aguas

pluviales. Sin embargo, no se han realizado análisis confiables a largo plazo, que puedan demostrar en qué medida las emisiones de los vehículos motorizados contribuyen a contaminar el flujo de aguas pluviales en las zonas pobladas.

La abrasión de forros de freno y los componentes metálicos son elementos típicos que deterioran las pistas. Se trata principalmente de materias inorgánicas que contienen cantidades considerables de metales pesados, tales como cobre, níquel, cromo y plomo.

La vegetación es otro factor importante que afecta la calidad del agua pluvial. Dependiendo del lugar, la estación del año y las condiciones atmosféricas, los elementos tales como hojas, flores, frutos, espinas y otras materias orgánicas, caen y son acarreados por las aguas pluviales.

El excremento animal contribuye a la contaminación bacteriológica y orgánica de las aguas pluviales. Es el caso del excremento de palomas y otras aves, perros, caballos, ratas, etc. Como puede apreciarse en el Cuadro 2.5.-3 (GELDREICH /88/), la contaminación bacteriológica es producida sustancialmente tanto por el hombre como por los animales.

El polvo proveniente de los suelos también es arrastrado por el viento o por las aguas pluviales. Quanto más pequeñas sean las partículas acarreadas, mayor será la contaminación; esto explica también por qué existen concentraciones tan elevadas en el inicio del flujo.

CUADRO 2.5.-3  
BACTERIAS POR G EN LA EXCRETA HUMANA, DEL PERRO Y LA RATA  
(VALOR DEL 50%) /88/

	Hombre	Perro	Rata
Bacterias coliformes fecales (CF)	13 000 000	23 000 000	330 000
Estreptococos fecales (EF)	3 000 000	980 000 000	7 700 000
$\frac{CF}{EF}$	4,3	0,02	0,04

En el Cuadro 2.5.-4 se muestra un resumen de las concentraciones promedio de los contaminantes en los depósitos de las calles, según estudios realizados en Estados Unidos /88/.

CUADRO 2.5.-4  
CONCENTRACIONES PROMEDIO DE CONTAMINANTES EN LOS DEPOSITOS  
DE LAS CALLES /88/

Parámetro	Concentración en mg/g de materia sólida seca
Sólidos orgánicos	51
DBO <sub>5</sub>	2,3
DQO	54
Grasas y aceites	6,4
Petróleo	3,6
Fósforo total	0,6
Nitrógeno total	0,25
Caucho (jebe)	2,5
Cromo	0,08
Cobre	0,12
Níquel	0,19

2.5.3 Contaminación del flujo durante la época de lluvias en el sistema de alcantarillado

Las aguas pluviales sufren alteraciones en el sistema de alcantarillado, ya sea éste un sistema separado o combinado.

Las aguas pluviales contienen tanto los contaminantes recolectados antes de llegar al suelo, como las partículas de polvo que se depositan sobre las superficies pavimentadas en el estiaje, y que son acarreadas por la escorrentía.

Si no recibe el tratamiento adecuado, el agua proveniente de la lluvia y la nieve que cae a suelos contaminados, originará una considerable carga contaminante en el sistema de alcantarillado, en la planta de tratamiento de aguas residuales o en las aguas receptoras. Entre los suelos contaminados se encuentran los de las estaciones gasolineras, los de estaciones ferroviarias, donde se carga y descarga productos derivados del petróleo, establecimientos variados que procesan sustancias químicas orgánicas e inorgánicas, dañinas o tóxicas, etc.

Sin embargo, el agua residual se verá afectada en grado diferente dependiendo de si se encuentra en un sistema de alcantarillado independiente o en uno combinado. En consecuencia, existen varias ventajas y desventajas con relación a la escorrentía pluvial.

2.5.3.1 Contaminación del efluente en los sistemas de alcantarillado unitario o combinado

En un sistema de alcantarillado combinado, en cierta medida el efluente es diluido por el agua pluvial; por otro lado, dependiendo de las características

de la estructura del sistema de desagües, la contaminación se eleva cuando se recolecta el agua pluvial. Se puede considerar como fuentes de contaminación a las siguientes:

- contaminación de la propia lluvia;
- contaminación por el polvo depositado, durante el estiaje, sobre suelos pavimentados o no pavimentados;
- contaminantes producidos en el área de desagüe (por ejemplo, por plantas industriales), que son acarreados a las alcantarillas conjuntamente con las aguas pluviales;
- materiales para despejar vías y calles, acarreados al sistema de alcantarillado durante el invierno;
- acarreo de materia proveniente de los depósitos de las alcantarillas y de la erosión del suelo hacia el área de desagüe. Se acumulan depósitos durante el estiaje cuando la velocidad del flujo en la alcantarilla disminuye por debajo de 0,5 m/s. Otros factores importantes en la contaminación son el agua foránea y los primeros tramos de la alcantarilla donde el flujo de agua es bajo;
- la retención del agua en la alcantarilla, debido, entre otras razones, a la sedimentación. Esto se produce en los tramos que sirven como sumideros colectores de agua pluvial especialmente, en alcantarillas poco profundas, con gradiente insuficiente o menor que el previsto debido a errores de construcción.

#### 2.5.3.2 Contaminación del efluente en sistemas separados de desagüe de aguas pluviales

La alcantarilla pluvial en un sistema separado de desagüe no sólo acarrea la carga contaminada de las aguas pluviales sino que presenta una contaminación adicional que proviene de las siguientes fuentes:

- agua contaminada que va directamente a la alcantarilla pluvial durante el estiaje; por ejemplo, la proveniente del lavado de autos en las calles;
- agua contaminada proveniente del lavado de las escaleras exteriores, tiendas, restaurantes, veredas, etc., la cual va también a los sumideros en las calles;
- agua de reboses, proveniente de las fuentes públicas. Como resultado, incluso en el estiaje, existe un flujo constante de agua bien oxigenada hacia la alcantarilla pluvial, formándose así una delgada capa resbaladiza de bacterias sobre el fondo húmedo de la alcantarilla. Esta delgada capa mucilaginosa en las alcantarillas es separada por la fuerza de tracción del agua durante la época de lluvias y registrada como contaminación orgánica en los análisis de calidad del agua pluvial;

- conexiones deficientes debidas a errores de instalación, lo cual hace que se descarguen las aguas residuales domésticas en la alcantarilla pluvial, o, por el contrario, que las canaletas recolectoras de los techos se conecten a la red de alcantarillado. Las malas conexiones representan una gran desventaja en los sistemas separados de alcantarillado;
- el acarreo de materia proveniente de los depósitos acumulados en las alcantarillas y de la erosión del suelo en las zonas contaminadas por desagües industriales;
- descarga no autorizada de desechos altamente contaminados en los sumideros de las calles;
- aguas residuales industriales que puedan considerarse como "convencionalmente no sobrecargadas", como el caso de las aguas de refrigeración o transporte, pero que puedan originar depósitos;
- desechos resultantes de la limpieza urbana, que ingresan a las alcantarillas pluviales a través de los sumideros de las calles;
- agua foránea contaminada que llega a las alcantarillas pluviales;
- aguas de drenaje, si bien éstas, en general, pueden ser consideradas limpias.

## 2.6 OTROS TIPOS DE AGUAS RESIDUALES

En lo referente a la disposición de aguas residuales, otros tipos de aguas residuales industriales son el agua de mar y el agua reutilizada.

### 2.6.1 Agua de mar

En los balnearios y en las zonas de campamentos cercanas al mar, el agua de mar se encuentra muchas veces como agua subterránea, incluso a poca profundidad. En ese caso, las tuberías de concreto, concreto reforzado y de asbesto cemento, pueden sufrir una intensa corrosión a causa de las sales disueltas de magnesio, sales de amonio y sulfuros. No obstante, existen otros casos en los que se debe considerar la contaminación por agua de mar, como por ejemplo:

- conductos de descarga instalados en el fondo del mar que se extienden por varios kilómetros en mar abierto;
- conductos de salida de piscinas que contienen agua de mar;
- duchas, inodoros y otras instalaciones en las playas que utilizan agua de mar;
- sistemas municipales de alcantarillado que descargan directamente en el mar o en estuarios. En ambos casos, la alcantarilla puede resultar inundada a

consecuencia de las mareas altas, lo cual expone a las tuberías de la alcantarilla al contacto con el agua de mar.

#### 2.6.2 Agua reutilizada

La reutilización de las aguas residuales comerciales e industriales depende de su composición y de la calidad del agua industrial requerida. En la República Federal de Alemania, los desechos industriales se dividen en cuatro clases, de acuerdo a la concentración de sus constituyentes:

1ra. Clase - Aguas residuales que pueden incorporarse a las aguas residuales domésticas sin haber recibido mayor tratamiento, en tanto difieren sólo ligeramente en su composición.

2da. Clase - Aguas residuales contaminadas orgánicamente que pueden agregarse a las aguas residuales domésticas. Sin embargo, cuando son descargadas en tandas, pueden afectar seriamente a las aguas residuales domésticas, de modo que debe hacerse uso de un tanque regulador para dispersar y amortiguar la descarga durante un período más largo.

3ra. Clase - Aguas residuales que pueden ser descargadas luego de un tratamiento previo, como por ejemplo la eliminación de materias suspendidas sedimentables o de grasas y aceite. En el caso de aguas alcalinas o ácidas, deben ser neutralizadas previamente.

4ta. Clase - Aguas residuales que en ningún caso deberían descargarse en el sistema de alcantarillado; es el caso de líquidos como el petróleo y los aceites, los residuos de olor desagradable, etc.

En algunas zonas industriales, principalmente en las más antiguas, también se recolecta el agua pluvial en las alcantarillas de efluentes industriales. Esto puede permitirse siempre que el efluente de la alcantarilla sea de la misma calidad que el agua pluvial. De otro modo, la última deberá recolectarse separadamente para evitar que se contamine con el efluente industrial, y que requiera el mismo complejo tratamiento.

La reutilización de las aguas residuales, o la recuperación parcial de sus componentes, puede realizarse en la misma fábrica; las aguas residuales pueden también reutilizarse en forma directa o indirecta en otros campos comerciales.

En la misma fábrica, el agua puede ser recirculada de acuerdo a cuatro esquemas de flujo diferentes, como se muestra en la Figura 2.6.-1, los cuales son /164/:

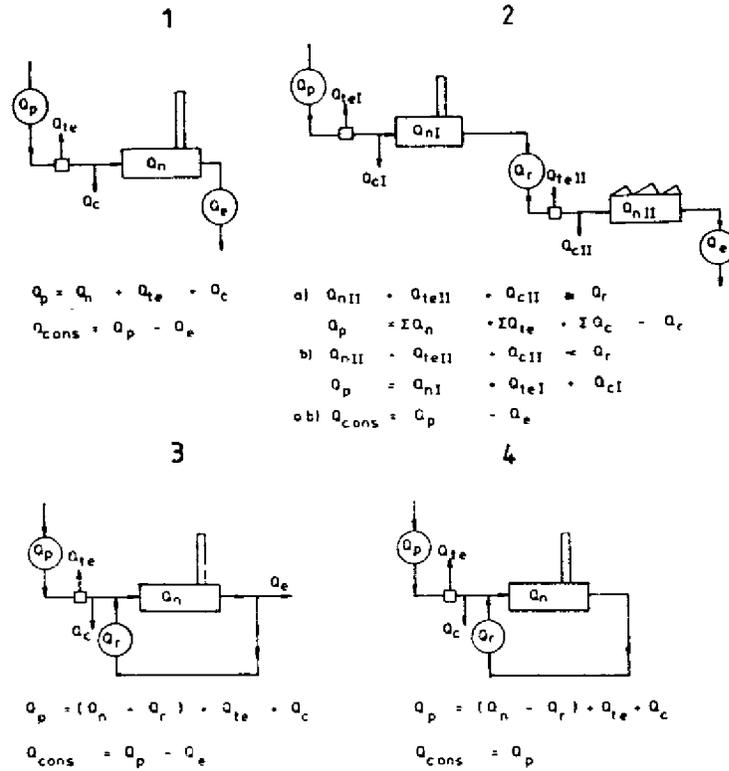
- sistema abierto (Figura 2.6.-1,1),
  - sistema escalonado (Figura 2.6.-1,2),
  - recirculación parcial (Figura 2.6.-1,3),
  - recirculación cerrada (Figura 2.6.-1,4).
- En un sistema abierto, el agua se clarifica y se descarga en el agua receptora. Normalmente este esquema resulta ser el más económico para la

compañía, pero anticuado en lo que se refiere a protección ambiental, y no es el más recomendable. En los países en desarrollo, éste es el método que se utiliza con mayor frecuencia; algunas veces sin contar siquiera con una planta de tratamiento.

- Cuando se utiliza el agua en un sistema escalonado, el agua clarificada de la Sección I de la fábrica se reutiliza en la Sección II o en otras fábricas antes de ser descargada. Este modelo puede ser apropiado, siempre que la calidad del agua residual tratada de la Sección I permita su utilización como agua de elaboración en otras secciones o fábricas. Este modelo presupone también la clasificación de las diferentes calidades de agua necesarias en las otras secciones de la fábrica.
- El modelo de recirculación parcial es el que más se utiliza para resolver los problemas de administración del agua. Este modelo permite disponer de las aguas residuales en forma, generalmente, satisfactoria respecto a las condiciones ambientales y sanitarias de la localidad. Este también puede ser el método más económico para la fábrica.
- Recirculación cerrada. Este modelo puede ser útil en el caso de residuos tóxicos y de condiciones locales especiales. Suele ser el más costoso para la compañía, pero es aceptable desde el punto de vista de la administración de los recursos hídricos. En muchos países europeos en donde se cobran tarifas por la toma de agua y por la descarga de aguas residuales en aguas receptoras, tales métodos pueden reducir los costos por toma de agua dulce.

En otras ramas comerciales, las aguas residuales industriales pueden ser reutilizadas directa o indirectamente.

- Por ejemplo, se las puede utilizar directamente para irrigar grandes extensiones de tierra, empleando así las materias primas contenidas en el agua. Esto se aplica principalmente a las aguas residuales provenientes de la industria de procesamiento de alimentos. Es recomendable devolver al suelo las sustancias que se le extrajeron como consecuencia de la producción de alimentos, tales como el agua, el calcio, el nitrógeno y el fósforo.
- Las aguas residuales industriales también pueden ser descargadas en aguas receptoras, y de ahí ser recuperadas indirectamente como aguas naturales. El agua receptora normalmente es un cuerpo de agua superficial. En algunos casos, el agua residual se deposita y se trata en formaciones geológicas subterráneas, incluso en la preparación de agua potable (Namibia, Israel). Naturalmente, esto no es lo mismo que la preservación subterránea del agua potable, la cual se practica algunas veces. La mayoría de residuos industriales se reutiliza mediante métodos indirectos. En realidad, todo el ciclo del agua utilizada por el hombre no es más que una reutilización de las aguas residuales que han sido sometidas a una limpieza natural o artificial (técnica).



$Q_p$  = cantidad de toma de agua  
 $Q_n, Q_{nI}, Q_{nII}$  = demanda de agua por parte del consumidor  
 $Q_r$  = agua reutilizada y recirculada  
 $Q_{te}, Q_{teI}, Q_{teII}$  = cantidad utilizada para propósitos propios de la planta de tratamiento de agua  
 $Q_c, Q_{cI}, Q_{cII}$  = pérdidas de agua en el sistema de distribución y otras pérdidas  
 $Q_e$  = descarga  
 $Q_{cons}$  = consumo de agua (no devuelto a la fuente)

Figura 2.6.-1: Esquemas de flujos para la utilización de residuos industriales /164/

- |                       |                          |
|-----------------------|--------------------------|
| 1. Sistema abierto    | 3. Recirculación parcial |
| 2. Sistema escalonado | 4. Recirculación cerrada |

#### 2.6.2.1 Uso múltiple y recirculación de las aguas residuales industriales

Las autoridades encargadas de administrar los recursos hídricos suelen exigir que las aguas residuales descargadas satisfagan las altas normas de calidad, con la finalidad de proteger los cuerpos receptores de agua de la contaminación. La reutilización de aguas residuales en las plantas industriales es entonces particularmente ventajosa cuando el cumplimiento de dichas normas representa un costo elevado. Algunas veces a la fábrica le resulta imposible o demasiado costoso obtener agua de procesamiento de buena calidad, ya sea por razones naturales o debido a las normas que rigen la administración de los recursos hídricos. En este caso, la reutilización puede resultar apropiada, o incluso necesaria. Esto es válido principalmente, en el caso de zonas en donde el abastecimiento de agua está restringido, o en las zonas áridas. Asimismo, para muchas plantas, es económico reutilizar sus propias aguas residuales porque así logran recuperar sustancias valiosas.

Las aguas residuales industriales pueden reutilizarse en la forma siguiente:

- recirculación de las aguas residuales dentro de la planta;
- utilización en una planta industrial de aguas residuales municipales o de otro tipo provenientes del exterior.

##### 2.6.2.1.1 Reutilización de aguas residuales dentro de la planta

La reutilización del agua dentro de una fábrica es un método efectivo para reducir la descarga de agua residual en el sistema de alcantarillado público o en un cuerpo hídrico. Este es un método empleado en muchas fábricas. El uso múltiple de las aguas de procesamiento resulta especialmente económico en casos en que se requiere agua para transportar las materias primas y para los procesos de refrigeración y lavado; siempre que el tratamiento de reutilización no sea demasiado costoso. Por otro lado, también es ventajoso utilizar las mismas aguas, varias veces, cuando sólo puede obtenerse agua de cuerpos hídricos superficiales a un costo elevado. Esto resulta particularmente válido cuando el agua de procesamiento utilizada no está demasiado contaminada o puede ser purificada satisfactoriamente mediante los métodos usuales. Las aguas de refrigeración se adecúan a este método, en tanto presentan un bajo grado de contaminación y sólo han sido calentadas durante el proceso de enfriamiento. Cuando la temperatura del agua es demasiado alta, se la puede reducir fácilmente dejándola enfriar. Sin embargo pueden aparecer capas mucilaginosas y otras formaciones biológicas en las aguas de refrigeración que entonces deberán ser tratadas adecuadamente.

En otros casos, por ejemplo en fundiciones, se utiliza el agua caliente del proceso de refrigeración para procesos que requieren temperaturas más elevadas.

En muchas fábricas, el agua de refrigeración que ha sido utilizada una o varias veces, se utiliza finalmente como agua de procesamiento. Esto puede demostrarse a través de algunos ejemplos (MÜLLER /107/):

En las minas de carbón se utiliza normalmente el agua de pozo o de minas para lavar el carbón. Las aguas fluviales obtenidas fácilmente, o el agua proveniente del suministro público, sólo se utilizan cuando las aguas de pozo son demasiado saladas. Las aguas de lavado son recirculadas el mayor tiempo posible. Para evitar que la sal se concentre demasiado, una parte del agua se reemplaza constantemente por agua dulce, la cual posee un bajo contenido de sal. La proporción de sólidos en el agua, (partículas finas de carbón) no debe exceder los 60 mg/l; a niveles superiores el agua se torna menos efectiva para el lavado y el enjuague. Por lo tanto, es necesario contar con instalaciones intermedias de clarificación.

En las plantas de procesamiento del coque se utiliza agua para enfriar el coque candente. En promedio, se requieren aproximadamente 5 m<sup>3</sup> de agua por cada 10 t de coque. Las aguas para enfriar el coque contienen grandes cantidades de sustancias no disueltas, principalmente coque menudo. Por el contrario, los contaminantes disueltos, tales como el fenol, los compuestos de cianuro y el sulfuro de hidrógeno, sólo están presentes en pequeñas cantidades. En consecuencia, las sustancias disueltas pueden separarse del agua de enfriamiento en tanques de sedimentación simples y recircularse en la fábrica.

En las herrerías y plantas siderúrgicas se utiliza agua para enfriar los hornos de fundición, eliminar los gases de estos últimos y granular las escorias. Las aguas de enfriamiento de los hornos de fundición sólo presentan un bajo grado de contaminación, por lo que pueden ser recirculadas. Las aguas residuales de las plantas de granulación, contienen sin embargo una gran cantidad de sólidos, tales como escorias y polvo. Antes del proceso de reutilización, estas aguas residuales deben ser clarificadas en depósitos especiales suficientemente grandes. Incluso las aguas residuales, provenientes de la eliminación de gases nocivos de los hornos de fundición, que contienen cianuros, sulfuros, y fenoles, pueden recircularse con éxito. Con el fin de recuperar las aguas de lavado para su recirculación, se separan los sólidos en tanques de sedimentación. El asentamiento de finas partículas de polvo se agiliza en muchos casos agregando al agua agentes químicos de precipitación, parte del agua en circulación se reemplaza regularmente por agua dulce para así prevenir que la concentración de sustancias disueltas sea demasiado elevada.

En las plantas de laminación se utilizan grandes cantidades de agua para enfriar las laminadoras. Las aguas residuales se encuentran altamente contaminadas con laminillas y, con frecuencia, también con aceite. Antes de ser recirculadas, deben ser tratadas en depósitos de clarificación para separar el aceite y los sólidos.

Las aguas residuales provenientes de las plantas de electrogalvanización están compuestas, principalmente, de licores residuales y grandes cantidades de aguas de enjuague. Estas últimas pueden ser recirculadas y purificadas mediante un proceso de intercambio iónico dentro del circuito. De este modo, la demanda de agua dulce disminuye a 0,1% respecto de la cantidad de aguas de enjuague en circulación.

En las fábricas mecánicas de pulpa, las aguas residuales provenientes de la trituration de la pulpa blanca contienen principalmente residuos no disueltos de pulpa de madera y algunas sustancias orgánicas. Por el contrario, en la producción de pulpa marrón, una cantidad considerable de sustancias orgánicas de lixiviación pasan a formar parte de las aguas residuales.

Por lo tanto, en las fábricas de pulpa blanca, el agua puede ser reutilizada una vez separadas las sustancias no disueltas y el sistema de recirculación puede cerrarse tan herméticamente que no se producirá agua residual o, en todo caso, muy poca.

En las fábricas de pulpa marrón, son las sustancias no disueltas que quedan en la madera después de la cocción a vapor las que contaminan altamente el agua residual. Las aguas residuales provenientes de la trituration de pulpa marrón contienen, entre otras sustancias, resinas, pentosas, humatos, vanilina, metanol, ácido acético y ácido fórmico. Cuando el sistema de recirculación es similar al de las fábricas de pulpa blanca, la concentración de sustancias nocivas en el agua llega a ser tan alta que dificulta la producción. Por lo tanto, el agua en el sistema de recirculación debería ser enfriada, agregándosele agentes de floculación apropiados para separar las sustancias que dificultan el proceso productivo y reutilizar en forma constante la mayor cantidad de agua posible.

En las fábricas de papel y cartón se requieren grandes cantidades de agua, principalmente para el lavado y el blanqueado, de acuerdo a la calidad del producto. El consumo de agua varía en las diferentes fábricas. El promedio, es de aproximadamente  $125 \text{ m}^3/\text{t}$  de producto para la fabricación de papel de embalaje, alrededor de  $200 \text{ m}^3/\text{t}$  de producto final para papel periódico y aproximadamente  $400 \text{ m}^3/\text{t}$  de producto final para papel fino. Al reciclar el agua o agua residual, se pueden lograr reducciones significativas en el consumo de agua dulce y en la cantidad de aguas residuales a ser descargadas. Para ello, dentro de la planta se emplean trampas en el sistema de circulación para retener la materia fibrosa. Esto posibilita, por un lado, la recuperación de materia fibrosa en el estado más fresco posible y el retorno de ésta al proceso productivo y, por el otro, la clarificación del agua mediante la eliminación de las fibras.

La industria química requiere grandes cantidades de agua y produce, como resultado, grandes volúmenes de agua residual. El agua de refrigeración se recircula cada vez más. El agua de condensación resultante del calentamiento indirecto de los recipientes de procesamiento se emplea como agua para alimentación de la caldera. Las aguas residuales del procesamiento se recirculan, entre otras razones, para recuperar la materia valiosa.

Además de usarse con fines de refrigeración, se utiliza agua en las diversas secciones de la planta para varios procesos de lavado, por ejemplo, limpieza de la materia prima y de los productos, lavado para separar las sustancias solubles de las corrientes de gases, purificación de gases cargados de partículas y lavado de los recipientes de procesamiento, especialmente en la producción intermitente. En muchos procesos químicos a gran escala, la demanda de agua de refrigeración es 5 a 10 veces mayor que la requerida para otros propósitos. El agua fluvial ya no sólo se usa una vez como agua de

refrigeración, sino que se están introduciendo cada vez más métodos de recirculación para abaratar la utilización del agua y mantener en lo posible un bajo nivel de descarga de agua residual, dada la creciente necesidad de proteger los cuerpos hídricos de la contaminación.

Las fábricas de azúcar de remolacha sólo operan durante ciertas épocas del año. Inician su funcionamiento con la cosecha de remolacha (por lo general a principios de octubre) y el procesamiento se hace día y noche; la campaña dura de 7 a 12 semanas. Se producen entonces aguas residuales principalmente durante esta época. El consumo de agua es muy elevado, lo que implica un caudal de aguas residuales alto. Al respecto, se vienen realizando esfuerzos para utilizar el agua residual varias veces y construir sistemas que permitan una recirculación lo más completa posible. Actualmente, la mayoría de fábricas de azúcar reutilizan sus aguas residuales, mediante sistemas de recirculación más o menos cerrados. Así, la demanda de agua dulce para el procesamiento puede reducirse considerablemente a 0,5 ó 1,0 m<sup>3</sup>/t de remolacha, cuando el total de consumo de agua sea de 10 a 14 m<sup>3</sup>/t de remolacha. La práctica ha demostrado que, en este caso, se debe introducir constantemente una cierta cantidad de agua dulce en el sistema. El agua residual respectiva podrá descargarse luego de haber sido purificada adecuadamente, aunque es preferible recolectarla en lagunas de almacenamiento y tratarla al finalizar la campaña. En esas condiciones se la podrá descargar en una proporción adecuada a la capacidad del curso receptor.

#### 2.6.2.2 Utilización de aguas residuales para otros propósitos

Existen diversas maneras de utilizar las aguas residuales fuera de la industria:

- como agua potable o agua para la higiene personal
- en plantas de doble finalidad
- para recargar el agua subterránea
- en zonas de recreación
- para fines agrícolas
- para la recuperación de materias primas.

##### 2.6.2.2.1 Reutilización de las aguas residuales como agua potable y agua para la higiene personal

Como regla general, el agua potable y el agua destinada a la higiene personal no deberán provenir en forma directa de las aguas residuales, independientemente del grado de tratamiento al que hayan sido sometidas mediante los procesos normales. Esto se debe a que el riesgo para la salud humana es bastante alto. Incluso en aguas residuales suficientemente tratadas y esterilizadas se han encontrado restos orgánicos estables y de otros tipos,

provenientes de excretas humanas y de descargas industriales, que constituirían un peligro si se llegaran a utilizar estas aguas residuales. En la actualidad, no se dispone de suficiente información con respecto a los efectos que podría tener en la salud el uso prolongado de agua que contenga dichas sustancias.

Por el momento, el agua potable que se obtiene de aguas residuales tratadas se utiliza sólo en casos de emergencia. Esto sucedió en Chanute, Kansas, EE.UU., en el verano de 1956 durante un largo período de sequía, cuando el río Neosho se secó y no se disponía de otra fuente de agua. El agua residual proveniente del pueblo de Chanute (de 12 000 habitantes) fue tratada biológicamente en filtros percoladores, el efluente fluyó a través de un trazo poco profundo del río, donde se le mantuvo por 17 días y, finalmente, fue preparada para el abastecimiento municipal de agua potable. Este uso directo duró 5 meses.

En EE.UU., Sudáfrica e Israel, se han llevado a cabo estudios para demostrar que es técnicamente posible obtener agua potable perfectamente aceptable a partir de aguas residuales (OMS /166/).

#### 2.6.2.2 Utilización indirecta de aguas residuales para obtener agua potable

Se puede obtener indirectamente agua potable a partir de aguas residuales mediante el ciclo: agua - agua residual - agua superficial o agua subterránea.

El uso de agua superficial es posible si existe un equilibrio biológico en el cuerpo hídrico, y si el agua residual a ser introducida recibe un tratamiento acorde con las normas de descarga existentes, o si hay la seguridad de que el agua fluvial estará de acuerdo con las normas de extracción del agua cruda destinada al consumo.

Cuando el agua recorre una distancia suficiente como para permitir que ocurra la autopurificación, se puede extraer agua cruda indirectamente de los cuerpos hídricos superficiales como aguas infiltradas, por ejemplo, a través de pozos o galerías de filtración en las márgenes del cuerpo receptor. En muchos casos, estas plantas extraen también aguas subterráneas, de manera que el agua cruda obtenida es una mezcla de aguas fluviales infiltradas y agua subterránea. En este caso, se deben llevar a cabo análisis especiales para determinar la permeabilidad y la calidad de la formación acuífera en la zona ribereña.

Un método similar es la creación de "agua subterránea artificial" utilizando la infiltración vertical para trasladar bajo tierra el agua fluvial, con la ayuda de pozos de infiltración o cuencas de infiltración. Así, el agua se retira del subsuelo a cierta distancia de las plantas de infiltración. Esta distancia debe ser lo suficientemente grande como para asegurar que el agua cruda obtenida pueda mezclarse con el agua subterránea y posea la calidad necesaria para la preparación de agua potable. También se ha obtenido "agua subterránea artificial" a partir de aguas residuales, inyectando éstas últimas bajo tierra mediante infiltración y manteniéndolas allí durante un promedio de 3 a 4 años, o cuando menos 400 días, antes de utilizarlas para el abastecimiento municipal de agua.

#### 2.6.2.2.3 Utilización de aguas residuales en plantas de doble propósito

En las regiones áridas, o en aquellos lugares donde los recursos hídricos naturales son escasos o poco apropiados para ser empleados como abastecimiento de agua potable (por ejemplo, alto contenido de sal), pueden resultar adecuados y económicos los sistemas de doble propósito. En estos sistemas, el agua potable y el agua de servicio no potable llegan por medio de tuberías independientes hasta el consumidor. El agua de buena calidad se distribuye a través de tuberías para que pueda ser utilizada en el consumo humano: la cocina, la higiene personal, etc., o como agua cruda en la industria. El agua de menor calidad es distribuida a través de un segundo conducto y se utiliza para satisfacer las necesidades municipales en general; por ejemplo, limpieza pública, extinción de incendios, fuentes y otros propósitos, como por ejemplo para los inodoros de zonas pobladas.

Sin embargo, la experiencia ha demostrado que esta solución representa un gran peligro para la salud, ya que dentro de los edificios las tuberías o grifos pueden ser confundidos. Para evitar tales peligros, se han adoptado diversas medidas, por ejemplo, el uso de grifos distintos: dos colores diferentes para las tuberías de agua, diferentes puntos de toma para el consumidor, y aun la esterilización de ambos tipos de agua. Naturalmente esta última medida resulta muy costosa. El uso de dos tuberías de abastecimiento por lo tanto, debe ser considerada muy cuidadosamente. En todo caso, el agua de menor calidad sólo puede utilizarse para el lavado, transporte o para fines de irrigación.

#### 2.6.2.2.3.1 Utilización de aguas residuales para restablecer las aguas subterráneas

La recarga artificial de las aguas subterráneas ha demostrado ser un medio eficaz para preservar este tipo de recursos naturales. Se la puede emplear para restablecer las aguas subterráneas con propósitos definidos, como por ejemplo, abastecimiento de agua, irrigación, para restablecer los depósitos de agua subterránea agotados por uso excesivo, o para producir una barrera de agua dulce que impida al agua salada llegar hasta las aguas subterráneas a lo largo de la costa.

Con frecuencia se utiliza la escorrentía de agua fluvial y pluvial, pero también son adecuadas las aguas residuales industriales y municipales convenientemente tratadas para recargar el acuífero. La mezcla y dilución con agua subterránea ayuda a reducir las concentraciones de sustancias y sólidos totales, contenidos en el agua infiltrada. Las aguas residuales biológicamente purificadas pueden infiltrarse en el subsuelo a través de depósitos abiertos de recarga y mediante plantas de irrigación por aspersión. La infiltración vertical con la ayuda de zanjas o depósitos es adecuada, especialmente cuando existen estratos permeables desde la superficie del suelo hasta el estrato acuífero. Si existen estratos impermeables profundos por encima del estrato acuífero, es mejor dejar que el agua de recarga, una vez purificada, fluya directamente hacia el estrato acuífero mediante pozos de infiltración. Sin embargo, en este método se requieren aguas residuales de alta calidad.

En varias regiones, especialmente en zonas áridas, se han establecido plantas para recargar el acuífero con aguas residuales para luego extraer el agua subterránea recargada, lo cual ha sido utilizado con éxito para la irrigación, para instalaciones municipales e industriales de abastecimiento de agua, previo tratamiento complementario.

#### 2.6.2.2.4 Utilización de aguas residuales en zonas de recreación

En regiones con pocos recursos hídricos, especialmente en las zonas áridas, el agua residual tratada puede usarse en zonas de recreación. Puede ser aprovechada para irrigar campos de golf, parques públicos, aeropuertos y otras áreas públicas. Un ejemplo de ello es la zona de recreación establecida recientemente en Santee, California, donde antiguas canteras de grava y arena han sido convertidas en lagos formados principalmente con aguas residuales tratadas. Otro ejemplo conocido es el caso del Proyecto South Lake Tahoe, en California, el cual fue diseñado para un volumen de 18.900 m<sup>3</sup> de agua por día.

Se ha creado otro nuevo parque de este tipo en Lancaster, California, abierto al público en 1973. Después de una primera clarificación, el agua residual pasa a ser purificada biológicamente en una serie de ocho lagunas de oxidación, seguida de un proceso de floculación (con sulfato de aluminio), filtración y cloración para remover el fósforo, los sólidos en suspensión y las algas. Luego, el agua residual tratada fluye hacia una serie de tres lagos destinados a fines de recreación. Los lagos contienen 300.000 m<sup>3</sup> y forman parte del Apollo Park, el cual tiene un área de 22,7 ha. Estos lagos no están provistos de salida para drenaje. El exceso de agua se utiliza para la irrigación.

#### 2.6.2.2.5 Utilización de aguas residuales para fines agrícolas

Las aguas residuales pueden contener sustancias fertilizantes y orgánicas, las cuales, además del agua misma, pueden ser útiles para la agricultura. El nitrógeno, fósforo y potasio, que contienen las aguas residuales municipales, son los principales elementos que las tornan valiosas como fertilizante.

En el Cuadro 2.6.-1 se señalan los posibles métodos de tratamiento recomendados por la OMS /170/ para proteger la salud cuando se reutilizan aguas residuales.

En general, los siguientes criterios establecidos por las Normas DIN 19650 pueden aplicarse para fines agrícolas.

- Las aguas residuales destinadas a la irrigación deben clarificarse en tanques de sedimentación por un tiempo suficientemente largo, y purificarse biológicamente cuando menos en forma parcial. En los casos necesarios, especialmente para riego por aspersión, el agua debe ser también clorada a fin de evitar olores desagradables.
- El agua del riego por aspersión no deberá caer en las zonas alledañas de tránsito vehicular, recreación, residenciales, u otros lugares de acceso

CUADRO 2.6.-1  
 METODOS RECOMENDABLES DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA SATISFACER  
 LOS CRITERIOS DE PROTECCION DE LA SALUD /170/

	Irrigación		Fines de reutilación		Reutilización municipal	
	Cultivos, no destinados para el consumo directo	Cultivos que deben ser consumidos; cítricos de peras	Con contacto	Sin contacto	Agua no potable	Agua potable
Criterios sanitarios (Clave para los símbolos presentados a continuación)	A + F	B + F D + F	B	D + G	C o D	E
Clarificación preliminar	• • •	• • •	• • •	• • •	• • •	• • •
Tratamiento biológico	• • •	• • •	• • •	• • •	• • •	• • •
Filtración por arena o proceso equivalente	•	•	• • •	• • •	• • •	• • •
Nitrificación					•	• • •
Desnitrificación						• •
Clarificación química					•	• •
Proceso de carbón activo						• •
Intercambio iónico o proceso equivalente					•	• •
Desinfección	•	• • •	•	• • •	•	• • •

Criterios sanitarios:

- A Ninguna materia gruesa; huevos de parásitos completamente eliminados.
- B Igual que A, más una eliminación completa de gérmenes y algunos virus.
- C Igual que A, más la eliminación de la mayoría de gérmenes y algunos virus.
- D Un máximo de 100 bacterias coliformes por 100 ml en un 80% de muestras.
- E Ninguna bacteria coliforme por 100 ml, ningún efecto perjudicial en el hombre, otros criterios para el agua potable
- F Ningún tipo de sustancias químicas que dejen residuos en los cultivos o peces.
- G Ningún tipo de sustancias químicas que irriten las membranas mucosas o la piel.

Los métodos de tratamiento marcados con • • • son imprescindibles para satisfacer los criterios de protección sanitaria.  
 Los métodos marcados con • • también son importantes, mientras que aquellos marcados con • sólo son necesarios algunas veces

a Cíetro libre después de 1 hora

público tales como huertas, viñedos, viveros, etc. La aspersión de agua no debe originar olores desagradables. Para cumplir con estas exigencias, en el riego por aspersión se deberán mantener las distancias adecuadas o plantar cercos vivos como medida de protección.

- El uso de aguas residuales para irrigación no está permitido en las tierras que albergan o son aledañas a las instalaciones de abastecimiento de agua.
- La irrigación por aspersión, de prados y forraje verde, debe realizarse asegurándose de que el último riego se haga por los menos 14 días antes de la cosecha y el pastoreo.
- Las remolachas para forraje o para la producción azucarera, las papas para uso industrial, las semillas oleaginosas y las plantas fibrosas, sólo pueden irrigarse hasta 4 semanas antes de la cosecha. Las papas y cereales para consumo humano pueden irrigarse hasta la floración. Las hortalizas sólo pueden irrigarse con agua pura.
- Las aguas residuales que contienen organismos patógenos, provenientes de edificaciones aisladas tales como hospitales de enfermedades infecciosas, sanatorios, plantas de disposición de desechos animales, mataderos sujetos a epidemias o cuarentenas, etc., no deben utilizarse con fines de irrigación.

Las aguas residuales domésticas y municipales son adecuadas para la irrigación, al igual que otros tipos de aguas residuales contaminadas principalmente con sustancias orgánicas, como las provenientes de lecherías, fábricas enlatadoras, fábricas de almidón, destilerías, cervecerías, mataderos, fábricas de azúcar, etc. Por lo general, son inapropiadas las aguas residuales que provienen de: la industria química, dado que contienen cantidades muy variables de ácidos libres y álcalis; la industria de la potasa, pues poseen un alto contenido de sal; las plantas procesadoras de metales, pues contienen sales metálicas nocivas, ácidos o álcalis; los yacimientos minerales de carbón, de sal, etc.

Las aguas residuales adecuadas pueden también emplearse, satisfactoriamente, para irrigar zonas forestales.

#### 2.6.2.2.6 Recuperación de sustancias reutilizables en las aguas residuales industriales

El agua residual industrial contiene muchas veces residuos de materia prima y de otras sustancias utilizadas en el proceso productivo. Son muchas las empresas interesadas en recuperar dichas sustancias, en tanto las mismas pueden reutilizarse o venderse; además, con ello se facilita y abarata la purificación de las aguas residuales.

Los requisitos para la recuperación de sustancias son: que este proceso pueda realizarse en forma económica y que exista un mercado para las mismas. La industria viene demostrando un creciente interés por la recuperación de sustancias a partir de las aguas residuales, debido a que muchas materias primas se han tornado escasas y, por ende, relativamente costosas. Asimismo,

cada vez es más difícil disponer de residuos especiales, debido a los requisitos - también cada vez más estrictos - para su purificación. En muchos casos, será necesario modificar los métodos de producción para responder a estos requisitos desde el punto de vista económico.

La recuperación representa mayores ventajas cuando existe en las aguas residuales una gran cantidad de materiales reutilizables y una baja proporción de sustancia desechable.

Se emplea una variedad de métodos para la recuperación de materiales reutilizables: sedimentación, precipitación, interceptores o trampas de grasa y aceite, artesas de rebose, filtro prensa y de vacío, centrífugas, plantas de evaporación, intercambio iónico, filtración, etc. Algunas veces, la recuperación forma parte del sistema de circulación de agua en la planta; puede ser también un requisito previo para la reutilización económica de aguas residuales, como es el caso de las plantas de galvanoplastia, fábricas de papel y la industria química. Estos son algunos ejemplos:

En la industria minera, el carbón, por lo general, es lavado una vez extraído y el lodo que contiene es recuperado de las aguas de lavado mediante un proceso de sedimentación, flotación u otros procesos. Luego, el carbón contenido en el lodo es utilizado al máximo posible. Los residuos de las plantas de coque, fábricas de gas, plantas de carbonización a baja temperatura, plantas de hidrogenación y fábricas similares, contienen principalmente, fenol, amoníaco, sulfatos, cianuros, cloruros y componentes de alquitrán y carbón. La eliminación del fenol de estas aguas residuales y su posterior recuperación, son procesos cuyo uso se está haciendo cada vez más frecuente. El fenol puede ser recuperado con la ayuda de procesos especiales, como la extracción con bencina, tolueno y otros solventes similares, la absorción a través de carbón activo o la separación de vapores. La Emscher River Association y la Lippe River Association operan 20 plantas de eliminación de fenol en plantas de coque, en las cuales se recupera actualmente unas 7500 t anuales de fenol. Diecisiete (17) de estas plantas utilizan procesos de extracción por bencina y/o lejía. Dos (2) de ellas emplean el proceso de extracción con Fenosolván (Figura 2.6.-2), en el cual, el fenol es extraído mediante un solvente orgánico.

Las plantas decapadoras de hierro y otras plantas procesadoras de metales producen licores decapadores residuales, altamente concentrados, y aguas residuales de enjuague diluidas. Estos residuos son tratados para recuperar ácidos y sales de hierro y metálicos, tales como: ácido sulfúrico, sulfato de hierro, sulfato de cobre, etc.

En las plantas de galvanoplastia, las aguas residuales son tratadas mediante intercambiadores de iones para recuperar sales metálicas valiosas que, de otra manera, serían descargadas y eliminadas con el agua. La eliminación completa de sales - de las aguas de enjuague que contienen cromatos - por medio de un intercambiador de iones posibilita la total recuperación del ácido crómico.

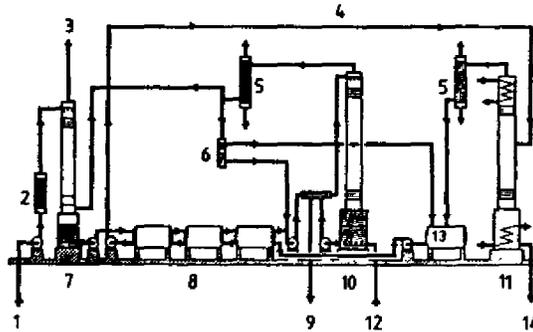


Figura 2.6.-2: Proceso de extracción con Fenosolván (LURGI - Francfort/M.) /../

- |  |                               |
|--|-------------------------------|
| 1. Agua natural con contenido de fenol | 8. Extracción por etapas      |
| 2. Enfriador                           | 9. Aguas residuales sin fenol |
| 3. Gas residual                        | 10. Columna de separación     |
| 4. Fenosolván concentrado              | 11. Aparatos de destilación   |
| 5. Condensador                         | 12. Vapor directo             |
| 6. Separador                           | 13. Tanque de Fenosolván      |
| 7. Torre de fumigación                 | 14. Fenol natural             |

En las fábricas de seda artificial y de rayón, dentro de la industria de fibra sintética, se utiliza una cantidad considerable de sustancias químicas durante la transformación de la celulosa de sulfito en seda artificial mediante el método viscoso. Por cada t de celulosa, se requieren 800 kg de soda cáustica, 1100 kg de ácido sulfúrico, 290 kg de bisulfuro de carbón y 49 kg de sulfato de zinc. Estas sustancias químicas se extraen nuevamente del producto final y se descargan con las aguas residuales en forma diferente. Para que la producción resulte más económica, las sustancias químicas utilizadas deben recuperarse al máximo posible. Para la fabricación de seda artificial y rayón mediante el proceso de cuproamoníaco, se utiliza también una gran cantidad de sustancias químicas; por una t de producto final se requieren 600 kg de amoníaco, 258 kg de sulfato de cobre, 100 kg de lejía de soda y 1000 kg de ácido sulfúrico. Este proceso representa múltiples ventajas cuando las sustancias químicas se recuperan al máximo posible, especialmente en el caso del cobre y el amoníaco.

Las aguas residuales provenientes de las fábricas de tela, de papel y de celulosa contienen una cantidad considerable de materias fibrosas cuya recuperación es una etapa necesaria del proceso de producción. Dicha recuperación se logra a través de interceptores de tamizado de fibra y sistemas de flotación.

Las aguas residuales provenientes de fábricas enlatadoras de frutas y hortalizas se clarifican mediante mallas y tamices, mientras se encuentren frescos, para así recuperar la mayoría de los componentes no disueltos. Estos últimos se utilizan como alimento para ganado. Los residuos sólidos contenidos en las aguas residuales de las cervecerías se utilizan con igual propósito.

Las grasas y aceites de muchas aguas residuales industriales se recuperan para una nueva utilización mediante interceptores (trampas). Por ejemplo, las grasas y aceites, de las aguas residuales de las plantas de laminación, se recuperan mediante separadores, se tratan en instalaciones independientes dentro de plantas especiales y luego se reutilizan. Las refinerías de petróleo recuperan el petróleo de sus aguas residuales en colectores especiales y luego lo purifican antes de utilizarlo nuevamente. La recuperación de grasa lanar a partir de los residuos provenientes de las plantas de limpieza de lana, ha demostrado ser particularmente provechosa. Igualmente, se recupera gran cantidad de grasa mediante el tratamiento de los residuos provenientes de los mataderos, pudiendo luego utilizarse para la fabricación de grasas industriales, entre otras cosas.

En los mataderos se recupera sangre, cerdas, piel, grasas, vísceras, huesos y glándulas, los cuales poseen un valor comercial. Son de particular interés las preparaciones con hormonas que se obtienen de las glándulas y otros productos residuales (SIERP /158/):

- del páncreas de mamíferos y peces, se produce la insulina (regula el metabolismo de los azúcares),
- de la tiroides se produce la tiroxina (regula la actividad y el metabolismo cardíacos),
- de la paratiroides (cuerpos epiteliales) se produce la hormona paratiroidea (regula el metabolismo del calcio y la excitabilidad de los nervios),
- de las glándulas suprarrenales del ganado y de la médula, se produce la adrenalina (sube la presión arterial) y extractos de la glándula suprarrenal (ayuda al metabolismo de los carbohidratos y minerales),
- de la prehipófisis se producen hormonas que estimulan la lactancia (prolactina), incrementan la cantidad de las glándulas sexuales (prolan A y B) y regulan la tiroides,
- de la poshipófisis se produce la oxitocina, hormona que induce los inicios del parto y otras hormonas para elevar la presión arterial y regular la actividad de concentración de los riñones,
- de los testes de toros y los ovarios de vacas y cerdos se producen hormonas sexuales.

3. DISPOSICION DE LAS AGUAS RESIDUALES EN LAS ZONAS RURALES Y POBLADOS PEQUEÑOS

La disposición de aguas residuales en pequeños poblados y zonas rurales no está incluida en el presente estudio técnico. En la Conferencia Mundial del Agua, organizada en Mar del Plata, se decidió que, durante el decenio del agua, el abastecimiento y la disposición de agua en zonas rurales debía considerarse como de vital importancia. A pesar del consenso en torno a los objetivos y las metas del decenio del agua, cabe señalar que los mayores problemas de abastecimiento y disposición de agua se presentan en las zonas periféricas (asentamientos marginales de las grandes ciudades).

Mientras que, de un lado, es factible resolver los problemas de abastecimiento de agua y disposición de desagües en las zonas rurales a través de obras de saneamiento de bajo costo, tecnología simple o proyectos comunitarios; los problemas de las zonas marginales urbanas, de otro lado, deben resolverse mediante métodos técnicos adecuados.

Con relación a los sistemas de abastecimiento de agua y sistemas de alcantarillado, existen diferencias significativas entre las zonas rurales, por un lado, y las zonas urbanas marginales y las ciudades, por el otro. Por esta razón, el problema del abastecimiento de agua y disposición de desagües en zonas rurales y pequeños poblados no ha sido incluido en el presente estudio.

Se puede encontrar información adicional sobre el tema en diversas publicaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y del Banco Mundial mencionadas en las referencias, al igual que en publicaciones de otras organizaciones internacionales.