

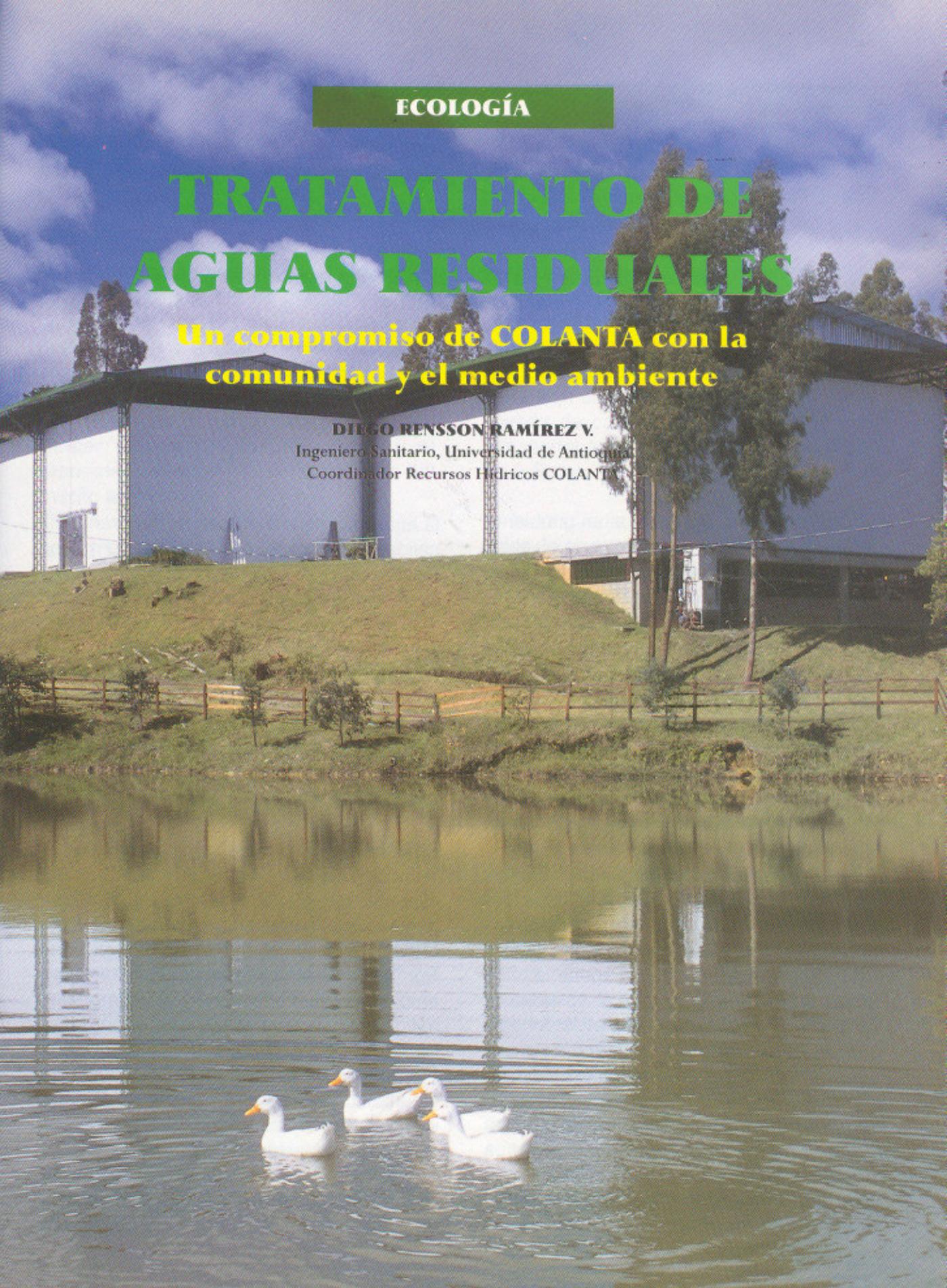
**ECOLOGÍA**

# **TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

**Un compromiso de COLANTA con la  
comunidad y el medio ambiente**

**DIEGO RENSSON RAMÍREZ V.**

Ingeniero Sanitario, Universidad de Antioquia  
Coordinador Recursos Hídricos COLANTA



## TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Un compromiso de COLANTA con la comunidad y el medio ambiente



El derecho a un ambiente sano, promulgado en el artículo 79 de la nueva Constitución Política de Colombia de 1991, abrió una serie

de perspectivas a la problemática ambiental en nuestro país. Una de ellas fue la creación del ministerio del Medio Ambiente según la Ley 99 de 1993, el cual nació en un momento histórico en donde la conciencia pública respecto al cuidado del medio ambiente había aumentado considerablemente.

Esta conciencia ambientalista ha tocado las puertas del sector productivo y ha encontrado eco en la gran mayoría de empresas que han entendido que el crecimiento económico debe llevar a la elevación de la calidad de vida y al bienestar social, sin agotar la base de recursos naturales en que se sustenta, ni deteriorar el medio ambiente y el derecho de las generaciones futuras a utilizarlo para la satisfacción de sus propias necesidades.

El anterior principio conocido como el desarrollo sostenible, plantea retos y desafíos que deben llevar a los empresarios a innovar y a buscar soluciones creativas a los problemas concretos de su entorno, aumentando

la eficiencia de sus procesos, mejorando la calidad de los productos, ofreciendo mayor satisfacción a sus clientes y fortaleciendo su competitividad nacional e internacional.

Los fundamentos de esta visión de competitividad con obligación social, plantean tres objetivos que las empresas deberán abordar en forma dinámica y equilibrada para garantizar su sobrevivencia a largo plazo: eficiencia económica, equidad social y manejo eficiente de los recursos naturales.

El ahorro de los recursos naturales y la reducción de las emisiones al aire, al suelo y al agua son exigencias tanto de las autoridades ambientales como de los mercados internacionales y las comunidades vecinas. Frente a esta realidad, en algunos sectores empieza a surgir una nueva visión empresarial que mira la gestión ambiental como una fuente de oportunidades.

En muchos países el desarrollo sostenible es considerado una filosofía que gran parte de las organizaciones predicán, pero muy pocas la aplican. En Colombia el escenario no es diferente, pero la preocupación de las empresas productivas para desarrollar pro-

cesos que no deterioren el entorno ambiental ha dado un paso significativo.

COLANTA como cooperativa líder en el sector lechero, ha entendido que su compromiso social va más allá de producir leche y derivados lácteos de excelente calidad, y ha puesto en marcha en sus diferentes plantas de recibo y procesamiento, programas de reducción de contaminantes al agua, aire y suelo de acuerdo con la filosofía de hoy: **"hacer compatible la producción y el bienestar social con la conservación del medio ambiente"**.

## AGUAS RESIDUALES

Son aguas de desecho, utilizadas en las diferentes actividades humanas, agrícolas e industriales, a las cuales se le ha cambiado sus características físico-químicas y bacteriológicas debido a la adición de sustancias que las hace dañinas para la salud humana, fauna y flora, y que para poder ser vertidas o nuevamente utilizadas deben ser sometidas a un tratamiento.

### Generalidades

Las aguas residuales, empezaron a existir cuando al hombre se le ocurrió que el agua era un excelente medio para limpiar y transportar los desperdicios generados en sus actividades diarias.

Las referencias más antiguas en el uso de drenajes y alcantarillas datan de cinco mil años a.C., en la antigua Mesopotamia, el sistema de desagüe transportaba las aguas residuales de palacios y distritos residenciales hasta las afueras de la ciudad. En la región del Pakistán Occidental, se han encontrado excelentes sistemas sanitarios que

datan del tercer milenio a.C., y en Babilonia y Jerusalén se construyeron alcantarillados en roca desde el siglo IX a.C.

Pero fue durante el imperio romano que las alcantarillas se hicieron comunes. La famosa Cloaca Máxima fue empezada a construir durante el año 588 a.C., para desaguar la región del Foro. Esta desembocaba en la parte baja del Tíber, y hoy se puede ver la bóveda de cañón de 5 m de ancho que transportaba las aguas residuales de la antigua Roma.

En la antigüedad, sólo se reconoció la necesidad del transporte de los residuos mediante el uso del agua, no se pensó en el tratamiento de estas aguas de desecho, probablemente porque el daño que hacían a las corrientes que las recibían era muy bajo.

Con el aumento de la población, la actividad industrial y comercial, se generó una mayor producción de aguas de desecho, las cuales debido a su cantidad y concentración produjeron una sensible disminución de la calidad de las aguas donde se descargaban, acabando muchas veces con la vida animal y vegetal, convirtiéndolas en cloacas al aire libre, de aspecto desagradable, mal olientes y generadores de todo tipo de enfermedades debido a su mala calidad.

Por lo tanto, el adecuado manejo de aguas residuales y su tratamiento es un problema moderno, que apenas ha interesado al hombre contemporáneo y que empezó a desarrollarse entre mediados y finales del siglo pasado, cuando las epidemias de cólera arrasaron con ciudades enteras, debido al suministro de agua contaminada. En nuestros días la lucha contra la contaminación producida por las aguas de desecho ha sido

un compromiso asumido por los estamentos gubernamentales, empresariales y comunidad en general, con el firme propósito de entregar a las futuras generaciones un medio ambiente libre de todo tipo de contaminación.

### **Clasificación de las aguas residuales**

En general se pueden clasificar en: aguas residuales domésticas, industriales, de escorrentía y pluviales.

#### **Aguas Residuales Domésticas**

Son aquellas generadas por las personas en sus actividades diarias (baño, uso del sanitario, preparación de comida, lavado de ropas).

#### **Aguas Residuales Industriales**

Son las generadas en los procesos industriales llevados a cabo en las diferentes actividades productivas.

#### **Aguas de Escorrentía**

Son las aguas lluvias de zonas de uso agrícola y ganadero, las cuales arrastran fertilizantes (nitrógeno y fósforo), agroquímicos y pesticidas.

#### **Aguas Pluviales**

Son las aguas lluvias de zonas urbanizadas.

Es importante anotar que las aguas residuales industriales y domésticas presentan una mayor contaminación que las aguas lluvias (de escorrentía y pluviales), por lo tanto debe evitarse su mezcla. Generalmente se construyen alcantarillados separados para su recolección, disposición final y tratamiento.

### **LA INDUSTRIA LÁCTEA Y LA GENERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES**

La industria láctea ocupa un lugar importante en el sector alimentario Colombiano. La producción lechera estimada en nuestro país para 1996 es de unos 4.700 millones de litros, equivalentes a 13 millones de litros de leche diarios.

La Organización Mundial de la Salud considera que el consumo total promedio de lácteos (leche y derivados) de un país no debe ser menor a 165 litros/hab-año. El consumo en Colombia es de 120 litros/hab-año que aunque está por encima del promedio de algunos países latinoamericanos como Brasil (100 litros/hab-año), está muy distante de potencias lecheras como Argentina (190 litros/hab-año) y mucho más de los países europeos.

En la producción y procesamiento de la leche se genera una gran cantidad de aguas residuales de elevada carga contaminante, constituidas esencialmente por residuos de leche, productos y derivados lácteos con distintos grados de dilución acuosa y productos de limpieza como detergentes, ácidos y alcalis fuertes.

Adicionalmente en las plantas de derivados lácteos, se produce un subproducto que como el suero algunas veces no puede ser comercializado y por lo tanto se descarga al alcantarillado.

Para dar una idea de la carga contaminante de los desechos lácteos, se tiene que una industria que procesa 100.000 litros de leche-día para la elaboración de derivados lácteos (principalmente queso) produce una

carga contaminante equivalente a la producida por 65.000 personas, mientras que en una planta de recibo y/o de pasterización, esos 100.000 litros producen una carga contaminante equivalente a la aportada por una población entre 5.000 y 10.000 personas.

La cantidad de aguas residuales generadas depende de la naturaleza de los productos fabricados. En la tabla 1 se presenta el aporte de aguas residuales industriales para plantas de recibo y procesamiento de leche en diferentes países.

**TABLA 1.** Producción de aguas residuales por litro de leche recibido y procesado.

PAÍS	GENERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES
Francia	7 - 11 Litros
Argentina	1.5 - 2 Litros
Italia	2.1 Litros
USA	4.9 Litros
Colombia (Plantas de COLANTA)	1.1 - 3 Litros

En general la bibliografía toma como valor promedio 2 litros de aguas residuales por litro de leche procesada. Por lo tanto, para nuestro país con una producción estimada para este año en 4.700 millones de litros de leches diarios, el caudal de las aguas residuales ascendería a 9.400 millones de litros por año (26 millones diarios) con lo que se puede dar una idea de la magnitud del problema para su adecuada disposición y tratamiento.

Aunque esta cifra parezca muy alta, se ha encontrado que el aporte por contaminación de la industria láctea en diferentes países representa solamente el 3% de la polución industrial total.

## Tipos de tratamiento

Se entiende por tratamiento de las aguas residuales todos aquellos procesos de tipo físico, químico o biológico que permita disminuir su carga contaminante, causando el menor impacto posible sobre los cuerpos de agua que las reciben.

A continuación se hace un resumen de los diferentes procesos que permiten realizar un eficiente tratamiento de las aguas residuales de la industria lechera y que están siendo utilizadas en las diferentes plantas de COLANTA.

**Pretratamientos:** Su principal objetivo es el de retener partículas sólidas (trapos, plásticos, arenas y grasas) que pueden incidir negativamente en la siguiente parte del tratamiento. Están compuestos por rejillas, desarenadores, pozos de bombeo y trampas de grasas.

Dentro de éstos también se encuentran los tanques de homogenización o igualación en donde se busca, que tanto las características físico-químicas como el caudal de agua residual sean iguales, con el fin de aumentar la eficiencia del sistema de tratamiento.

**Tratamientos Primarios:** Su principal objetivo es el de remover aquellos contaminantes que puedan sedimentar como partículas disueltas y algunas suspendidas. Como tratamiento primario, se utilizan los sedimentadores primarios, la precipitación química (coagulación-floculación) y la flotación.

La sedimentación primaria puede realizarse en un tanque rectangular o cilíndrico, las partículas que sedimentan son diferentes a aquellas que lo hacen en un desarenador,

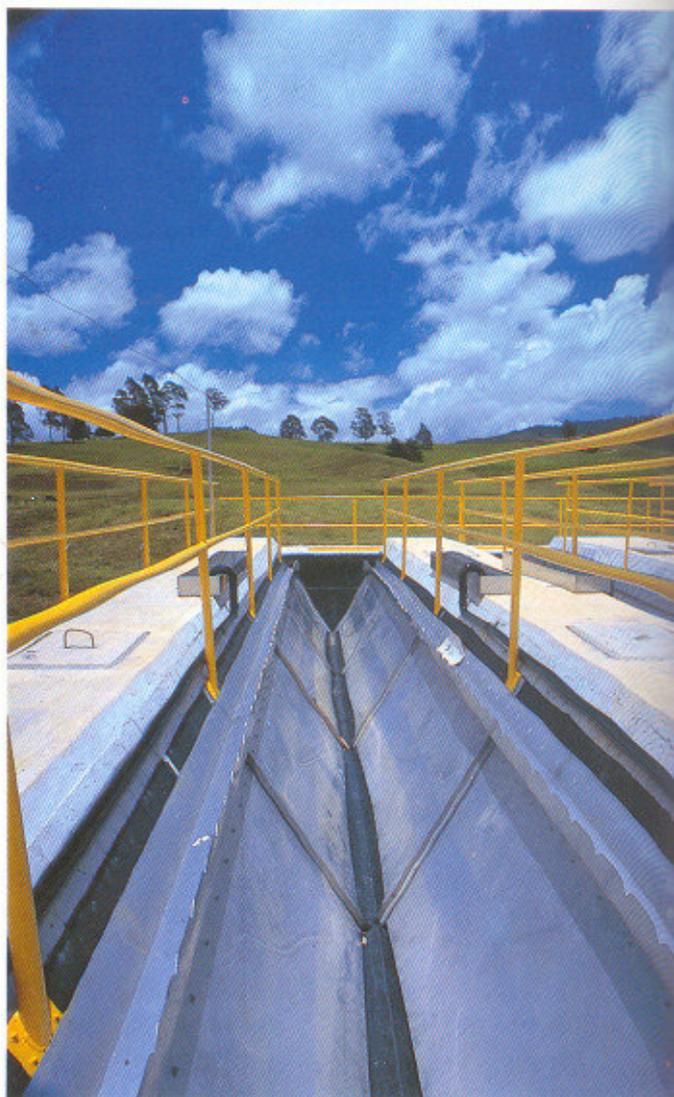
mientras que en este último caso las partículas son inorgánicas (arenas y piedrecillas), en la sedimentación primaria el proceso es de tipo floculento y los lodos producidos son de tipo orgánico.

En la precipitación química, se agregan compuestos al agua residual, con el fin de formar flóculos (grumos) que sedimenten por su propio peso y realizar una remoción de los sólidos suspendidos, presentes en el agua residual. Entre los compuestos químicos más utilizados como coagulante, tenemos el sulfato de aluminio o alumbre, sulfato férrico, sulfato ferroso y cloruro férrico. Adicionalmente se agregan sustancias que ayuden a este proceso como la cal y los polímeros.

La flotación consiste en la inyección de aire en una fase líquida, creándose pequeñas burbujas que se adhieren a las partículas, presentándose luego un levantamiento de éstas debido a las fuerzas ascendentes de las burbujas de aire.

**Tratamientos secundarios:** Su objetivo es el de remover la carga contaminante que escapa a un tratamiento primario. Estas remociones se efectúan fundamentalmente por medio de procesos biológicos, en donde se efectúan las mismas reacciones que ocurrirían en una corriente receptora de aguas residuales, cuando ésta tiene capacidad de asimilarlos. Sólo que en el tratamiento secundario estas reacciones se aceleran, para facilitar la descomposición en periodos cortos de tiempo.

En el sistema biológico, el agua residual es pasada a través de una población de microorganismos, los cuales se han adaptado previamente para que puedan "comerse" la materia orgánica presente. Existen dos mane-



ras de hacer el tratamiento: con la presencia de oxígeno (tratamiento aerobio) o sin la presencia de oxígeno (tratamiento anaerobio).

En el tratamiento aerobio los sistemas más conocidos son los lodos activados, los filtros percoladores y las lagunas aerobias. En el tratamiento anaerobio los sistemas más comunes son los reactores UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) conocidos como reactores anaerobios de manto de lodos y flujo ascendente, los FAFA (Filtros Anaero-

bios de Flujo Ascendente), los RALF (Reactores Anaerobios de Lecho Fluidizado) y las lagunas anaerobias.

En el tratamiento mediante lodos activados, una mezcla del agua residual y microorganismos es agitada y aireada. En este sistema, las bacterias utilizan el oxígeno suministrado artificialmente para desdoblar los compuestos orgánicos en dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), agua y nuevo material celular. El aire es suministrado por medio de compresores y equipos de difusión.

Los filtros percoladores consisten en un lecho de material grueso, compuesto por piedras o materiales sintéticos de diversas formas, sobre el cual son aplicadas las aguas residuales por medio de brazos distribuidores fijos o móviles. Alrededor de este lecho fijo, se encuentra adherida una población bacteriana que descompone las aguas residuales a medida que filtran hacia el fondo del tanque.

Las lagunas anaerobias son estanques grandes de poca profundidad (0.6 a 1.5 m) diseñados para tratar las aguas residuales a través de una relación entre la luz del sol, algas, oxígeno y bacterias.

En los reactores UASB, la remoción de los contaminantes orgánicos se realiza colocando el agua residual en contacto con una masa de microorganismos que no necesitan oxígeno y que está suspendida debido a la entrada ascendente del agua residual. Al realizarse la degradación de la materia orgánica por parte de estas bacterias se produce biogás (70% de metano), agua y nuevo material celular.

En los FAFA y los RALF ocurre exactamente lo mismo, la única diferencia es la forma en

que se encuentran dispuestos los microorganismos, en los FAFA éstos están adheridos a un material de relleno (piedras, guadua, material sintético), en los RALF se encuentran fluidizados (suspendidos) en un lecho que puede ser de arena o carbón activado.

**Tratamientos terciarios:** se incluye el tratamiento y disposición final de arenas y lodos generados en los tratamientos anteriores. Se debe retirar el agua que contienen, para luego utilizarlos como abono o disponerlos en el relleno sanitario (basurero) municipal. De igual manera se incluyen también los tratamientos que permitan eliminar sustancias como el nitrógeno y el fósforo de las aguas residuales.

## SISTEMAS DE TRATAMIENTO EN LAS FINCAS PRODUCTORAS

Luego de conocer los antecedentes históricos, los tipos de agua residual y su tratamiento, COLANTA quiere proponer a sus asociados el siguiente sistema de tratamiento para las aguas residuales generadas en las fincas lecheras, con el fin de proteger la salud de las personas y prevenir la contaminación del medio ambiente.

### Sistema tanque séptico-filtro anaerobio

#### GENERALIDADES

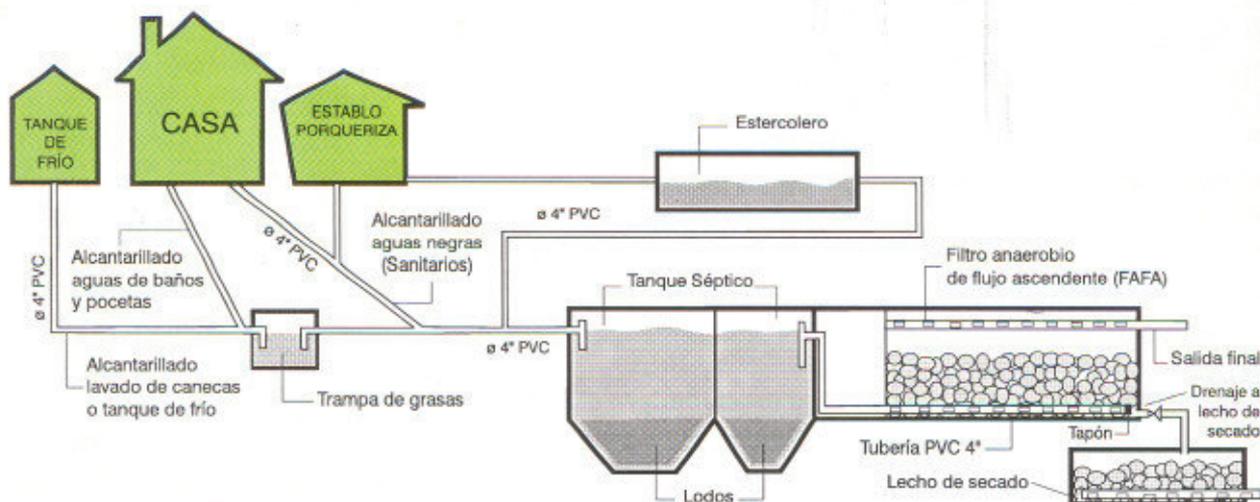
Para que el sistema de tratamiento tanque séptico-filtro anaerobio trabaje correctamente se debe considerar las siguientes recomendaciones:

- Este sistema sólo está diseñado para tratar las aguas residuales domésticas (producidas en el sanitario, baño, cocina y lavado de ropa) y las aguas de lavado del establo, porqueriza, canecas y/o tanques de frío en pequeñas fincas lecheras.
- En los establos y porquerizas deben retirarse manualmente los excrementos y disponerse en un tanque estercolero, para luego ser utilizados como abono. Al sistema de tratamiento deberán llegar las aguas del lavado final de establos y porquerizas con el menor contenido de sólidos posible. Si el número de animales es muy grande (más de 10 vacas y cerdos) deberá construirse un sistema de tratamiento exclusivamente para el manejo y disposición de sus aguas residuales (biodigestor).
- Los productos químicos utilizados como desinfectantes no deben llegar hasta el sistema de tratamiento, ya que matarían la población de microorganismos encar-

gada de realizar la descomposición de los contaminantes presentes en las aguas residuales.

- Trapos, bolsas, papeles gruesos y toallas sanitarias, no deben llegar hasta el sistema de tratamiento porque pueden causar su obstrucción.
- Las aguas lluvias no deben llevarse hasta el sistema de tratamiento.
- El sistema tanque séptico-filtro anaerobio debe estar alejado:
  - De una corriente de agua 25 m.
  - De un pozo de agua o tubería de succión 15-25 m.
  - De una tubería de agua potable 3 m.
  - De una casa o sus dependencias 3.5 m.
  - De límites de propiedad 3.0 m.
  - De líneas divisorias de lotes 0.60 m.

En el esquema 1, se puede observar un diagrama del sistema de tratamiento propuesto.

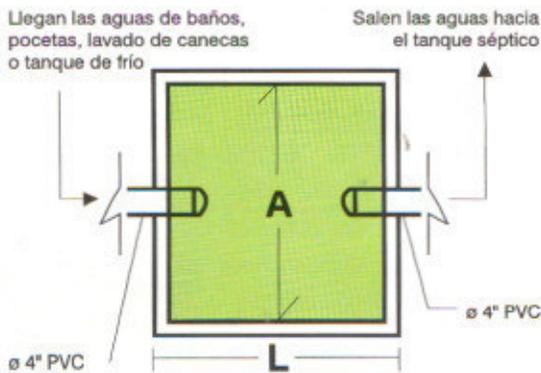


**ESQUEMA 1. Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales**

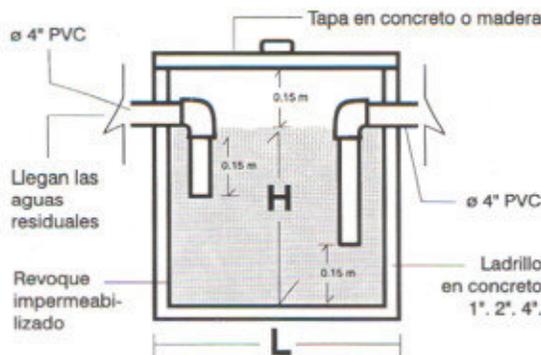
## COMPONENTES

**Tuberías de recolección:** Las tuberías de recolección y transporte de las aguas residuales deben ser preferiblemente de PVC con un diámetro mínimo de 4 pulgadas.

**Trampa de grasas:** Es un pequeño tanque provisto de una entrada sumergida, y su función es la de retener las grasas y jabones presentes en las aguas residuales. Su ubicación se debe realizar en un sitio accesible para su limpieza y solamente deberán conectarse las aguas residuales procedentes de la cocina, lavamanos, duchas, lavado de canecas y/o tanques de frío.



VISTA EN PLANTA



CORTE LONGITUDINAL

ESQUEMA 2. Trampa de Grasas

A la trampa de grasas no deben llegar aguas residuales que contengan algún tipo de heces fecales. En el esquema 2 se presenta una vista y corte de la trampa de grasas.

La trampa se usa para evitar que las grasas lleguen al tanque séptico y filtro anaerobio, ya que interfieren negativamente en el crecimiento de la población microbiana y además pueden obstruir el sistema de tratamiento.

Cada 15 días se deberá hacer una limpieza manual de las grasas retenidas en la trampa. Estas se dispondrán en un hoyo al cual debe agregársele cal y tierra. Pasado 1 mes podrá utilizarse la mezcla como abono.

**Tanque séptico:** Son cámaras rectangulares, de uno o varios compartimientos. Usualmente se construyen enterrados y reciben todas las aguas residuales producidas en la finca.

El tanque debe ser cubierto y hermético, construido en ladrillo o concreto y en él se dan los siguientes procesos:

- Sedimentación de parte de los sólidos que traen las aguas residuales.
- Retención del agua residual por espacio de por lo menos 24 horas, para que se garantice una descomposición anaeróbica (sin oxígeno) de la materia orgánica y una disminución de los lodos debido a la acción ejercida por los microorganismos.

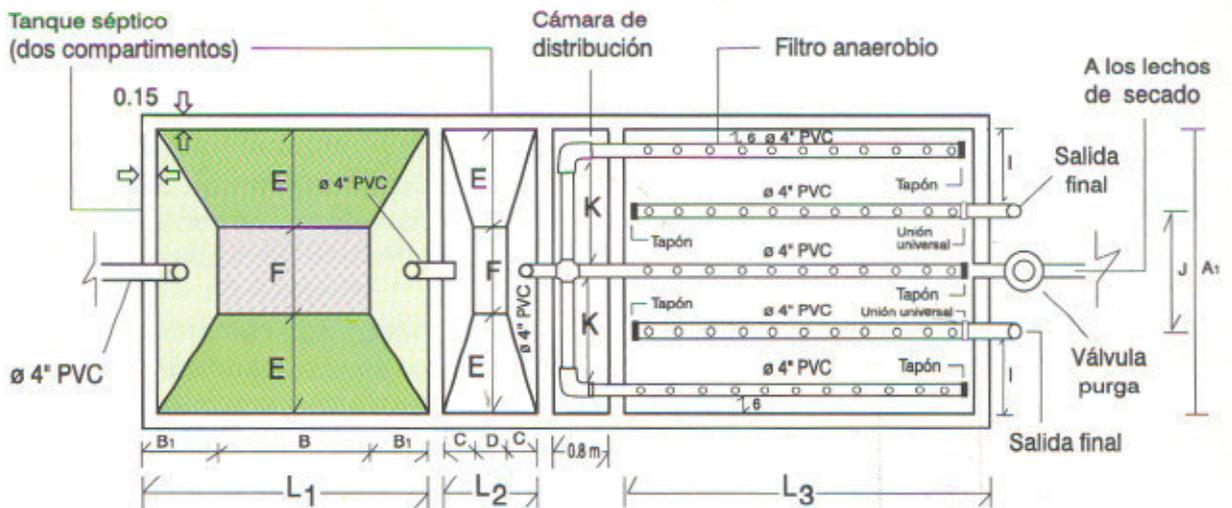
Las natas producidas en la superficie del tanque séptico deberán limpiarse cada 15 días y por lo menos cada año deberá retirarse todo el sedimento almacenado en las tolvas de lodos diseñadas para tal fin.

El manejo de lodos y natas se hará de la misma forma como se explicó en la trampa de grasas.

**Filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA):** consiste en una estructura general-

mente de forma rectangular, construida en concreto o ladrillo y a la cual llegan las aguas residuales que salen del tanque séptico. En el filtro anaerobio se realiza la degradación de la materia orgánica que escapa al tanque séptico, por medio de microorganismos (bac-

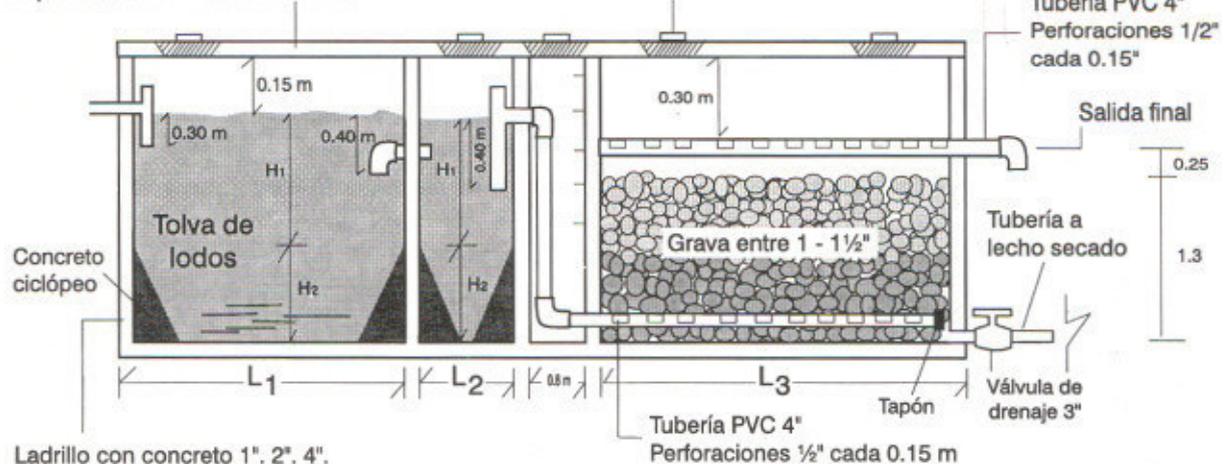
**ESQUEMA 3. Tanque Séptico - Filtro Anaerobio**



**VISTA EN PLANTA**

Concreto con varillas de 1/2" separadas 0.20 m centro a centro

Tapas de 0.60 m x 0.60 m ubicadas en el centro del sistema



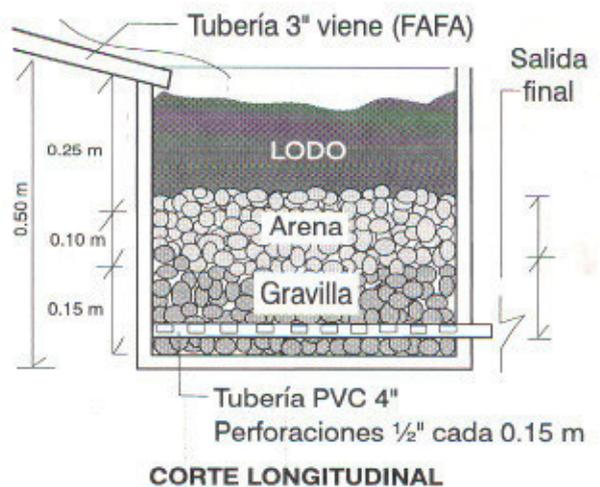
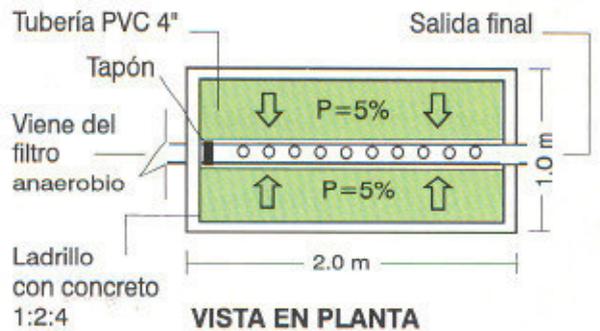
Ladrillo con concreto 1", 2", 4" o concreto con varillas de 3/8" separadas 0.20 m centro a centro

**CORTE LONGITUDINAL**

terias, virus, hongos, algas) que están adheridos a un medio filtrante el cual esta compuesto regularmente por piedra entre 1 y 1.5 pulgadas. Estos microorganismos se "comen" los contaminantes presentes en el agua residual, produciendo biogás (70% de metano), agua y nuevo material celular. En el esquema 3 se presenta una vista y corte del sistema Tanque séptico-Filtro anaerobio.

**Lechos de secado:** son estructuras de tipo rectangular, los cuales contienen grava y arena con el fin de filtrar el agua presente en los lodos y natas retirados de la trampa de grasas, tanque séptico y filtro anaerobio.

El secado se hace naturalmente (por evaporación). Los lodos secos se mezclan con tierra y cal y se entierran durante 1 mes para luego utilizarlos como abono. En el esquema 4 se presenta una vista y corte de los lechos de secado. Finalmente, en la tabla 2 se encuentra cada una de las dimensiones de las estructuras propuestas como sistema de tratamiento de aguas residuales en las fincas, de acuerdo con su producción lechera.



ESQUEMA 4. Lecho de secado

TABLA 2. Sistema de tratamiento Tanque séptico-Filtro anaerobio.

PRODUC. DE LECHE (Litros/día)	TRAMPA DE GRASAS				TANQUE SÉPTICO												FILTRO ANAEROBIO						
	A	L	H	H <sub>i</sub>	A <sub>1</sub>	B	B <sub>1</sub>	C	D	E	F	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>t</sub>	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	G	I	J	K	L <sub>3</sub>	
50	0.5	0.5	0.5	0.65	0.7	0.4	0.20	0.10	0.4	0.15	0.4	1.2	0.5	1.85	0.8	0.6	1.3	0.1	0.15	0.2	0.10	1.3	
100	0.5	0.5	0.50	0.65	0.7	0.5	0.25	0.10	0.4	0.15	0.4	1.2	0.5	1.85	1.0	0.6	1.3	0.1	0.15	0.2	0.10	1.6	
150	0.5	0.5	0.50	0.65	0.8	0.5	0.25	0.15	0.4	0.20	0.4	1.2	0.5	1.85	1.0	0.7	1.3	0.1	0.15	0.3	0.15	1.6	
200	0.5	0.5	0.50	0.65	0.8	0.6	0.30	0.15	0.4	0.20	0.4	1.2	0.5	1.85	1.2	0.7	1.3	0.1	0.15	0.3	0.15	1.9	
250	0.6	0.6	0.50	0.65	0.9	0.6	0.30	0.15	0.4	0.20	0.5	1.2	0.5	1.85	1.2	0.7	1.3	0.1	0.15	0.4	0.20	1.9	
300	0.7	0.7	0.50	0.65	0.9	0.7	0.35	0.15	0.4	0.20	0.5	1.2	0.5	1.85	1.4	0.7	1.3	0.1	0.15	0.4	0.20	2.0	
350	0.7	0.7	0.55	0.70	1.0	0.7	0.35	0.15	0.4	0.20	0.6	1.2	0.5	1.85	1.4	0.7	1.3	0.1	0.15	0.4	0.25	2.0	
400	0.7	0.7	0.60	0.75	1.0	0.8	0.35	0.20	0.4	0.20	0.6	1.2	0.5	1.85	1.5	0.8	1.3	0.1	0.15	0.4	0.25	2.2	
450	0.7	0.7	0.65	0.80	1.1	0.8	0.35	0.20	0.4	0.20	0.7	1.2	0.5	1.85	1.5	0.8	1.3	0.1	0.15	0.5	0.30	2.2	
500	0.7	0.7	0.7	0.85	1.1	0.9	0.35	0.20	0.4	0.20	0.7	1.2	0.5	1.85	1.6	0.8	1.3	0.1	0.15	0.5	0.30	2.4	

**Observaciones:** Las medidas de esta tabla están dadas en metros. El sistema está diseñado para tratar además las aguas residuales generadas por un máximo de 10 personas.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALLEVATO, Hugo. Evaluación del potencial energético de los efluentes generados por la industria láctea en la Argentina. Ezeiza, 1993. p. 20-100.
- COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS AGRONOMOS DE MURCIA. Curso sobre tratamiento de aguas residuales en la industria agroalimentaria. Murcia: Colegio Oficial de Ingenieros Agrónomos de Murcia, 1994. p. 15-21.
- KAMIYAMA, Hissashi. Revisao e aperfeicoamento do sistema tanque séptico-filtro anaerobio. En: Revista DAE. No. 169. (Jan/Fev -1993); p.1-17.
- OROZCO, Alvaro y SALAZAR, Alvaro. Tratamiento biológico de las aguas residuales. Medellín: Universidad de Antioquia, 1987. p. 15-20.
- PRIMER SIMPOSIO COLOMBIANO SOBRE BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL. (10: 1995: Medellín). Memorias del primer simposio sobre biotecnología ambiental. Medellín: Universidad de Antioquia. 1996.
- RAMALHO, Rubén. Tratamiento de aguas residuales. Barcelona: Editorial Reverté, 1991. p. 1-26.