

205/3

Reg. 26060

CONVENIO DE COOPERACIÓN TÉCNICA INTERINSTITUCIONAL ENTRE LA
CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA
CORPOICA Y LA ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE PORCICULTORES - ACP
FONDO NACIONAL DE LA PORCICULTURA - FNP

BIBLIOTECA AGROPECUARIA
DE COLOMBIA

ESTUDIO DE LA SITUACION AMBIENTAL DE LA INDUSTRIA PORCÍCOLA A NIVEL NACIONAL



Asociación
Colombiana
de Porcicultores

FONDO NACIONAL
DE LA PORCICULTURA

Asociación Colombiana de Porcicultores - ACP
Fondo Nacional de la Porcicultura - FNP
Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - CORPOICA

I. C. A. - BAC	
No. Acceso	
Compra	<input type="checkbox"/>
Conje	<input type="checkbox"/>
Donación	<input type="checkbox"/>
Procedencia	Deposito Legal CORPOICA
Fecha.	I-24-03
Costo	\$25.000

Investigadores:

Carlos O. Duque G.
 Biólogo Químico, Ph.D.
 Director Proyecto
 Programa Nacional de Biotecnología Animal
 CORPOICA - CEISA

Kevin Molina T.
 Ingeniero Químico, M. Sc.
 Ingeniero Consultor

Carley Osorio
 Ingeniero Químico
 Ingeniero Consultor

Antonio Carlos López P.
 Zootecnista
 Director Departamento Técnico
 Asociación Colombiana de Porcicultores
 Fondo Nacional de la Porcicultura

Impreso por:
 EDITORIAL SCRIPTO LTDA.
 Octubre de 2000

INTRODUCCIÓN

Cuando en 1992, en el marco de la segunda cumbre mundial del medio ambiente, alrededor de 120 jefes de estado manifestaron su preocupación ante el progresivo deterioro del planeta como consecuencia del desarrollo industrial y mal uso de los recursos naturales, la comunidad mundial comenzó a tomar conciencia de la necesidad de encontrar nuevos modelos de producción que garanticen la satisfacción de las demandas alimentarias de la población actual, sin poner en riesgo la supervivencia de las futuras generaciones; de esta manera, se abrió paso el concepto de producción sostenible.

En Colombia los cambios han sido notorios, se creó el Ministerio del Medio Ambiente, se ha venido modernizando y fortaleciendo la legislación ambiental y cada día, las autoridades ambientales, centros de investigación y productores, inician procesos de concertación en la búsqueda de soluciones a los problemas ambientales derivados de las actividades productivas.

En los últimos años, el sector porcícola con el apoyo de la Asociación Colombiana de Porcicultores – Fondo Nacional de la Porcicultura, ha venido haciendo grandes esfuerzos para lograr un desarrollo tecnológico que le permita a la industria competir en el ámbito nacional e internacional con productos de excelente calidad. Es así como se han hecho importantes inversiones en proyectos de investigación y desarrollo como: apoyo a la creación de empresas comercializadoras conformadas por los mismos productores; campañas de promoción al consumo de carne en medios masivos; sistemas de medición de canales; campañas de erradicación de enfermedades que limitan el comercio internacional de la carne de cerdo (Peste

Porcina Clásica), y diagnóstico y control de enfermedades entre otros de gran interés para la industria.

Ahora bien, el necesario crecimiento de la industria, con granjas tecnificadas y que manejan un número elevado de animales, puede conllevar a la creación de serios problemas ambientales como consecuencia de los altos volúmenes de residuos que se generan, los cuales tienen gran impacto sobre los medios receptores.

La ACP-Fondo Nacional de la Porcicultura, consciente de esta situación y de la necesidad de que los productores implementen programas de gestión ambiental como estrategia de competitividad y que cada día la imagen del cerdo sea la de una fuente de proteína animal de altísima calidad producida dentro de los preceptos de la sostenibilidad, es decir, en armonía con el medio ambiente, contrató a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria CORPOICA para adelantar un estudio de impacto ambiental con miras a formular estrategias e instrumentos que promuevan prácticas de mitigación en las empresas considerando los siguientes objetivos: Diagnosticar la situación acerca del manejo tecnológico ambiental de los residuos generados en la industria porcícola; clasificar y caracterizar los residuos generados y diseñar planes y estrategias encaminados a la implementación de prácticas más limpias en el sector.

Las memorias que se presentan a continuación, son el resultado del muestreo realizado en 91 granjas localizadas en Cundinamarca, Valle del Cauca, Quindío, Caldas, Risaralda, Santander, Tolima, Boyacá y Meta

2. MARCO TEÓRICO

2.1 TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES MEDIANTE LAGUNAS

Dentro de las lagunas de estabilización se encuentran las lagunas aeróbicas, anaeróbicas y facultativas. La combinación de la actividad bacteriana aeróbica y anaeróbica da origen al tipo de laguna más común en el tratamiento de aguas residuales, la laguna de estabilización facultativa.

Los estudios realizados acerca del tratamiento de aguas residuales mediante lagunas de estabilización, han considerado como factores de influencia sobre el proceso a:

La Fotosíntesis	El Oxígeno disuelto
La Radiación solar	Nutrientes
El pH	Sedimentación de lodos
Profundidad	Vientos
Sulfuros	Infiltración y evaporación
Temperatura	Geometría de la laguna
Tiempo de retención	DBO y Sólidos suspendidos.

La selección de la laguna de estabilización como sistema de tratamiento de aguas residuales se realiza con base en los siguientes principios básicos (Romero R. J., 1994 [C]):

- Si los recursos disponibles para el tratamiento son escasos, las obras de control de la contaminación deben satisfacer los requerimientos de tratamiento a un costo de operación y mantenimiento mínimo.
- Las lagunas de estabilización constituyen el proceso de tratamiento biológico más confiable por su resistencia máxima a altas cargas de materiales orgánicos y tóxicos, por su sensibilidad mínima a la operación intermitente y porque requieren una destreza operativa mínima.

- Lagunas en serie permiten diseños eficientes y por lo tanto más económicos.
- Las lagunas primarias tienen como propósito básico la remoción de la DBO y los sólidos suspendidos.
- Las lagunas secundarias tienen como función primordial la remoción de la DBO y los coliformes fecales.
- Las lagunas terciarias y posteriores proveen esencialmente remoción natural adicional de los coliformes fecales.

Para muchos productores de cerdos las lagunas son las opciones de tratamiento más prácticas y de menor costo, pero éstas no son recomendables en todos los casos. La operación de las lagunas debe evitarse en áreas muy pobladas o donde las condiciones del sitio puedan generar otros problemas de contaminación. También las granjas que utilicen el efluente del sistema de tratamiento como fertilizante para las cosechas deben considerar cuidadosamente las pérdidas de nitrógeno y fósforo que se presentan en una laguna.

2.1.1 CRITERIOS DE DISEÑO

La forma de clasificar y por consiguiente de diseñar lagunas de estabilización es muy variable y diferente. En la tabla 1 se presenta la clasificación de las lagunas de estabilización y sus parámetros típicos de diseño.

En el diseño de una laguna se deben tener en cuenta varios volúmenes, que luego son sumados para determinar el tamaño total. Dentro de los

componentes considerados se tienen: El volumen de diseño, basado en los kilogramos de sólidos volátiles por unidad de volumen de laguna, un volumen de almacenamiento de estiércol, un volumen de dilución, un volumen para almacenar una tormenta de 24 horas, un volumen de lodo y un volumen de sobrediseño como factor de seguridad.

El volumen de dilución se requiere para lograr un desempeño adecuado del proceso de tratamiento, disminuyendo la carga orgánica para evitar sobrecargas a la laguna. A menudo el agua de dilución

puede ser adicionada de los canales del tejado (aguas lluvias) o mediante la utilización de una mayor cantidad de agua fresca en los corrales.

A continuación se mencionan algunas consideraciones a tener en cuenta con respecto a cada uno de los puntos anteriores (NPPC, 1996):

Volumen de dilución

- Se utiliza como mínimo una parte de agua fresca por una parte de estiércol adicionada a la laguna.

Tabla 1. Características típicas de las lagunas de estabilización (Romero R. J., 1994 [C])

TIPO DE LAGUNA

PARAMETRO	Aeróbica tasa baja	Aeróbica tasa alta	Anaeróbica	Facultativa	Maduración
Area m [ha]	<4	0.2-0.8	0.2-0.8	0.8-4	0.8-4
Tiempo de retención [días]	10-40	4-6	20-50	5-30	5-20
Profundidad [m]	0.9-1.2	0.3-0.45	2.4-5	1.2-2.4	0.9-1.5
pH	6.5-10.5	6.5-10.5	6.5-7.2	6.5-8.5	6.5-10.5
Temperatura [°C]	0-30	5-30	6-50	0-50	0-30
Temperatura optima [°C]	20	20	30	20	20
COS [kg DBO/ha.d]	65-135	90-180	220-560	56-202	<17
Conversión DBO (%)	80-95	80-95	50-85	80-95	60-80
Conversión principal	Algas, CO ₂ bacterias	Algas, CO ₂ , bacterias	CH ₄ , CO ₂ , bacterias bacterias	Algas, CH ₄ , CO ₂ , bacterias, NO ₃	Algas, CH ₄ , CO ₂ ,
Conc. Algal	40-100	100-260	0-5	5-20	5-10
Sólidos suspendidos totales de efluente mg/L	80-140	150-300	80-160	40-60	10-30

COS= Carga Orgánica Superficial. Conc = Concentración.

- El agua de dilución incluye el agua de limpieza, cualquier escorrentía del lote o de los techos.
- Lo mejor es adicionar el agua de dilución en los corrales y así asegurar un mejor mezclado.

Volumen debido a lluvias

- Considerar la lluvia más larga que pueda caer en 25 años durante un periodo de 24 horas. La probabilidad de que ocurra una tormenta de esta magnitud en un año es del 4 %.

Volumen de seguridad

- Un volumen de seguridad u obra muerta debe ser mantenido para proteger la laguna de un sobre flujo, por ejemplo una tormenta inesperada cuando la laguna este lista para ser bombeada.
- Una obra muerta de 30.5 centímetros de altura como mínimo para un área de drenaje de 0.41 hectáreas o menos.

A continuación se presentan las recomendaciones que deben considerarse para la localización de un sistema de lagunas (NPPC, 1996):

- En climas fríos la distancia a residencias, edificios públicos y carreteras debe ser más grande.
- Si es posible coloque la laguna cerca y con cierta inclinación a la unidad de producción.
- Si hay vecinos cercanos coloque una barrera natural.
- Considere la proximidad y elevación con respecto a manantiales y fuentes de agua.
- Evalúe la permeabilidad del suelo en el área de construcción.
- Determinar la proximidad con respecto a bancos de agua y rocas fracturadas (piedra caliza).
- Analizar el viento y drenaje del aire. Los vientos predominantes podrían dispersar los olo-

res producidos y llevarlos lejos de las residencias. En hondonadas y valles el olor se transporta en distancias largas con mínima dispersión.

Las principales recomendaciones a tener en cuenta en el momento de construir una laguna son (NPPC, 1996):

- Asesorarse de un profesional en suelos para determinar las condiciones geológicas del terreno, analizando:
 - a) Profundidad a bancos de agua y a la capa permeable de suelo.
 - b) La permeabilidad del suelo en varios lugares.
- Hacer zanjas alrededor del sitio para reenrutar cualquier desagüe alrededor de la laguna.
- Asesorarse de un ingeniero para el diseño y trabajo final de construcción de la laguna.

Dentro de las principales razones del por qué fallan las lagunas se pueden destacar las siguientes:

- a) Diseño inadecuado del volumen de tratamiento.
- b) Cantidades inapropiadas de estiércol de alta carga orgánica alimentados en forma no frecuente.
- c) Adición de cantidades inadecuadas de agua de dilución, lo que disminuye la actividad bacterial.
- d) Evaluación deficiente del sitio, por ejemplo construcción de la laguna en un suelo con cavidades porosas o líneas de losas.
- e) Construcción y diseño deficiente de los diques de las lagunas.
- f) Daños en la integridad de la plancha del fondo de la laguna debido a :
 - Purga del foso de entrada.
 - A la remoción de lodo.
 - Ruptura del nivel mas bajo de la laguna.
- g) Modificaciones de la estructura de la laguna

por ejemplo una inadecuada instalación de la tubería en el dique.

- h) Fallas en las inspecciones frecuentes y en el mantenimiento de los diques (daño por arbustos y madrigueras).
- i) Permitir que se alcancen altos niveles de líquido en la laguna.

2.1.2. LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

A continuación se presentan las principales características de diseño de los diferentes tipos de lagunas de estabilización:

2.1.2.1 LAGUNAS AERÓBICAS

Este tipo de lagunas denominadas por algunos autores como lagunas de oxidación, son sistemas en los cuales la estabilización de la materia orgánica se hace en condiciones completamente aeróbicas.

En general existen dos tipos de lagunas de estabilización aeróbicas; el primer tipo es el grupo de las lagunas poco profundas cuyo objetivo es maximizar la producción de algas, ya que éstas proporcionan el oxígeno a las bacterias; en estas lagunas la profundidad se limita al intervalo entre 15 y 45 cm.

El segundo tipo es el de las lagunas cuyo objetivo principal es maximizar la producción de oxígeno y se usan profundidades hasta de 1.5 m, pero para mantenerlas aeróbicas se requiere realizar un mezclado periódico con bombas o aireadores mecánicos.

Las lagunas aeróbicas bien operadas tienen la ventaja de no producir olores molestos. La desventaja es que en algunos casos no son económicamente accesibles para muchos productores, entre otras causas debido a las grandes áreas de terreno requeridas o a los altos costos de energía asociados con el suministro de oxígeno. Las lagunas aeróbicas están generalmente precedidas de lagunas anaeróbicas o de otras unidades de tratamiento que disminuyen la carga orgánica. El diseño de las lagunas aeróbicas se basa en la DBO₅ adicionada por día y por hectárea.

Dentro de las principales características de las lagunas aireadas mecánicamente se mencionan las siguientes (NPPC, 1996):

- Requieren 1-2 kg de O₂ por kg de DBO₅ a tratar
- Por cada 93 m² de área superficial se requiere una potencia mínima de 1 HP suministrada por el aireador.
- Para el control de olores se debe airear en la parte superior hasta una profundidad de 46 centímetros.
- Para una mejor difusión del aire se puede utilizar un aireador flotante en la parte central de la laguna.

2.1.2.2 LAGUNAS FACULTATIVAS

Este tipo de lagunas se pueden diseñar con base en los modelos de reactor de mezcla completa y con cinéticas de remoción de la DBO de primer orden. Dentro de los modelos más conocidos se tienen el de Marais, modelos de carga orgánica superficial como los de McGarry y Pescod, Mara, Yañez y otros, así como modelos empíricos como el de Hermann y Gloyna entre otros.

1. Modelo de mezcla completa y cinética de primer orden.

En este modelo se supone que las partículas del fluido afluente son dispersadas instantáneamente a través de todo el volumen del reactor y que no existen gradientes de concentración dentro del sistema; por lo tanto, la concentración del efluente es la misma que la de cualquier punto dentro del reactor. La ecuación de diseño principal es:

$$= 1 / K (C_0 / C - 1)$$

Donde:

- = tiempo de retención en el reactor, días.
- K= Constante de reacción de primer orden para la remoción de la DBO, días⁻¹.
- C₀ = Concentración de la DBO en el afluente, mg/L.
- C = Concentración de la DBO en el efluente, mg/L.

Para el diseño, la selección del valor más adecuado de K constituye uno de los interrogantes más difíciles de resolver; la constante de remoción de la DBO es función de la temperatura y puede obtenerse de diferentes correlaciones estudiadas por autores como Marais, Mara, Gloyna etc. Las cuales se encuentran en la literatura especializada (Romero R. J., 1994 [C]).

2. MODELO DE FLUJO PISTÓN

En este modelo para una cinética de remoción de primer orden se obtiene:

$$C = C_0 e^{-k}$$

Donde:

t = tiempo de retención hidráulico en el reactor, días.

K = Constante de reacción de primer orden para la remoción de DBO, en flujo pistón días⁻¹.

C_0 = Concentración de la DBO en el afluente, mg/L.

C = Concentración de la DBO en el efluente, mg/L.

e = base de los logaritmos naturales, 2.7183.

Para la DBO, la K en condiciones de flujo pistón se puede calcular a partir de la ecuación:

$$k_T = k_{20} (1.09)^{T-20}$$

Donde:

k_T = Constante de reacción de la DBO a la temperatura T, d⁻¹.

k_{20} = Constante de reacción de la DBO a 20 °C.

T = Temperatura de diseño, °C.

Diferentes valores de k_{20} para un flujo pistón se presentan en la tabla 2 (Romero R. J., 1994 [C]).

Tabla 2

Valores de k_{20} para la ecuación de diseño con flujo pistón

Carga Orgánica Superficial COS kg DBO/ ha. día	k_{20} días ⁻¹
22	0.045
45	0.071
67	0.083
90	0.096
112	0.129

3. Modelo de carga superficial.

Las lagunas de estabilización facultativas se han diseñado con base en las cargas orgánicas superficiales, que la experiencia ha demostrado son aceptables para el diseño de este tipo de sistemas. Dichas cargas varían dependiendo del área geográfica, la temperatura, la profundidad del agua, la concentración de sólidos sedimentables etc.

Existen diferentes modelos que pueden ser utilizados según las condiciones de operación;

dentro de los más conocidos se destacan el de Gloyna el de Canter, Englande y Mauldin, McGarry y Pescod, Mara y Silva, Yañez, Arthur, Cubillos etc. Los cuales se encuentran disponibles en la literatura especializada (Romero R. J., 1994 [C]).

2.1.2.3 LAGUNAS DE MADURACIÓN

La destrucción de patógenos, virus, parásitos, y demás organismos perjudiciales es uno de los objetivos de los sistemas de tratamiento. Las lagunas de estabilización en serie proveen un me-

dio de remoción natural de los organismos coliformes fecales para satisfacer el propósito de desinfectar las aguas residuales.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), un agua residual con una DBO soluble de 50 a 70 mg /L puede tratarse mediante una o mas lagunas de maduración, reduciendo la DBO a menos de 25 mg /L. Las lagunas de maduración se construyen generalmente con tiempos de retención de 3 a 10 días cada una, y mínimo de 5 días cuando se utiliza una sola y con profundidades de 1 a 1.5 m. En la práctica el número de lagunas de maduración lo determina el tiempo de retención necesario para proveer una remoción específica de coliformes fecales (CF).

El cálculo de la mortalidad de coliformes puede realizarse utilizando los modelos de mezcla completa, flujo pistón, flujo disperso, usando ecuaciones cinéticas de primer orden.

2.1.2.4 LAGUNAS ANAERÓBICAS

Las lagunas anaeróbicas tratan cargas orgánicas tan altas que no poseen zona aeróbica, a excepción de su superficie. Generalmente son empleadas como lagunas primarias para tratar aguas residuales domésticas y municipales así como aguas residuales industriales con DBO mayores a 1000 mg /L. La profundidad es de 2.5 a 5 m y su diseño es prácticamente empírico.

Básicamente estas lagunas se diseñan con criterios de carga orgánica volumétrica o tiempo de retención. La acumulación de lodo primario se supone es de aproximadamente 0.04 m³/ año. Teniendo en cuenta el riesgo por generación de olores, son localizadas a distancias mayores de 200 m de núcleos habitacionales. Dentro de las principales ventajas y desventajas presentadas por las lagunas anaeróbicas se tienen:

Ventajas

- Disponibilidad de agua y nutrientes para cosechas.
- Mayor facilidad en la aplicación (riegos).

Desventajas

- Posibilidad de generación de olores.
- Posible contaminación del agua.
- Más terrenos necesarios en la granja, para la construcción de la laguna.
- Pérdida de nitrógeno a la atmósfera.

En la tabla 3 se resumen algunos de los parámetros más usados en el diseño de lagunas anaeróbicas. De los datos de la tabla se puede establecer la siguiente ecuación aproximada de diseño:

$$COV = 16.5 T - 100$$

Donde:

COV= Carga Orgánica Volumétrica, g DBO / m³ d.
T = temperatura de diseño.

Las lagunas anaeróbicas a temperaturas inferiores a 10 °C, no presentan una descomposición biológica significativa, pero debido a su volumen y tiempo de retención actúan como un gran sedimentador logrando una alta disminución en la DBO sedimentable. A temperaturas mayores se activa la digestión anaerobia, lo que mejora la remoción de la DBO como se presenta en la tabla 4.

Eventualmente el lodo puede acumularse en el fondo de la laguna al punto que se presenta una disminución en el volumen de tratamiento. La velocidad de acumulación es más rápida en lagunas operadas deficientemente o subdimensionadas. La acumulación es difícil de medir ya que se forma una pasta o lodo denso. En la tabla 5 se presentan algunos datos referentes a la acumulación anual de lodos en las lagunas para diferentes grupos etéreos.

Tabla 3. Factores de diseño de lagunas anaeróbicas (Romero R. J., 1994 [C])

Carga Volumétrica gDBO/m ³ .d	Tiempo de retención días	Profundidad m	Temperatura °C	Eficiencia de remoción de DBO %	Carga Orgánica Superficial
320	≥4	4.5	≥25	75	
100-400	≥2	>2.5	12 20 25	45 62 70	4000-16000
<300	5	2.5 - 5	>22	50	
<400	1	2 - 4	20	50	
<400	2.5	2 - 4	20	60	
<400	5	2 - 4	20	70	
100	2 - 5	3 - 4	10	40	
200	2 - 5	3 - 4	11 - 19	50	
300	2 - 5	3 - 4	20	60	
132 - 311	0.8 - 2	-	26	76 - 81	
190 - 240	2 - 5	3 - 5	-	-	1000- 6000
100	2 - 4	<10	40		
20 T -100		2 - 4	10 - 20	2 T + 20	
300		2 - 4	> 20	60	

Tabla 4. Efecto de la temperatura en la eficiencia de remoción de la DBO en lagunas anaeróbicas (Romero R. J., 1994 [C])

Temperatura ° C	Eficiencia de remoción de DBO %
< 10	40
11 - 20	50
21 - 25	60
> 25	70

Tabla 5. Acumulación anual de lodos en la laguna (NPPC,1996)

TIPO DE ANIMAL	Acumulación de lodo [m ³ /año]
Parideras	1.5
Cerdos en lactancia	0.1
Cerdo de crecimiento final	0.45
Cerda de gestación	0.41

Las lagunas son relativamente fáciles de manejar si son diseñadas y cargadas apropiadamente. Aquellas que son subdimensionadas traen como resultado un alto nivel de olores. En algunas lagunas anaeróbicas se han implementado sistemas de cubiertas con el fin de utilizar el metano generado y realizar un control bastante efectivo de los olores.

En las lagunas anaeróbicas hay una disminución en el contenido de nutrientes como el nitrógeno el cual es liberado al aire, el fósforo y el potasio son mantenidos en el lodo sedimentado al fondo de la laguna. En la tabla 6 se presentan algunos porcentajes de pérdidas de nutrientes debido al tratamiento en una laguna anaeróbica de una sola etapa (NPPC, 1996).

Tabla 6. Pérdidas de nutrientes en una laguna anaeróbica de una sola etapa

Nutriente	Porcentaje de pérdida
N	70-80 %
P	60-80 %
K	50-60 %

Existen sistemas compuestos por lagunas anaeróbicas de una o múltiples etapas. Las lagunas de dos etapas tiene un costo mayor referido a su construcción, pero proporcionan un tratamiento mas estable con menor producción de olores y un mantenimiento más sencillo. El sistema de dos etapas esta constituido principalmente por:

- Una cámara de bombeo para transportar el estiércol.
- La primera etapa mantiene constante el volumen de tratamiento, manejando el estiércol entrante más el lodo.
- La segunda etapa comprende el volumen de almacenamiento de estiércol, el volumen de dilución, el volumen debido a lluvias fuertes y un factor de seguridad.

El sistema de lagunas anaerobias de tres etapas esta compuesto por:

1. Una cámara de bombeo con una bomba flotante.
2. La primera etapa: de volumen constante para

recibir el estiércol a tratar.

3. La segunda etapa: es la más pequeña, mantiene el nivel del líquido constante para facilitar la recirculación de agua tratada a la granja.
4. Tercera etapa: tiene en cuenta los otros volúmenes necesarios para establecer el volumen total de tratamiento.

Después del diseño y la construcción, el manejo de una laguna anaeróbica es el factor mas importante para determinar su desempeño. En algunos casos una laguna mal manejada puede fallar, no importando si ha sido bien diseñada y construida. El arranque se debe realizar tan gradual como sea posible de la siguiente forma:

- Llenar la primera etapa con agua relativamente limpia hasta el nivel de tratamiento antes de adicionar el estiércol.
- Procurar adicionar el estiércol en épocas calientes para ayudar a la digestión.
- Adicionar pequeñas cantidades de estiércol frecuentemente por cerca de 3 meses antes de adicionar la carga de diseño.
- Proteger con una cerca todo el perímetro de la laguna.
- Cargar el estiércol uniformemente por toda la laguna.
- Realizar bombeos dos veces al año.
- Debe estar disponible una máxima capacidad en el almacenamiento cuando el cultivo receptor no este disponible y durante época de lluvias fuertes.
- Minimizar la acumulación de lodos, retirando efluente cerca al fondo una vez cada año.
- Cambiar el lugar de descarga cada vez que la laguna es bombeada para controlar la acumulación de lodos.

Debido a la sencillez de las lagunas de estabilización como sistemas de tratamiento, éstas deben

ser de construcción económica, configuración elemental, con estructuras de entrada y salida fáciles de mantener y únicamente con los accesorios de aforo y de pretratamiento estrictamente indispensables.

En general las lagunas con mezcla completa son cuadradas mientras las que operan con flujo pistón requieren relaciones longitud/ancho mayores de 3/1.

2.1.3 CONSTRUCCIÓN DE LAGUNAS

A continuación se describen los principales elementos a tener en cuenta durante la construcción de lagunas:

Construcción de diques. Un dique debe prevenir los efectos destructivos de la erosión causada por el oleaje en lagunas grandes y por las aguas lluvias, así como de las madrigueras construidas por roedores. En los taludes se debe proporcionar protección contra la erosión, especialmente en la zona comprendida entre 0.3 m por debajo del nivel mínimo del agua y 0.3 m por encima del nivel máximo del agua.

La protección contra la erosión se puede suministrar mediante recubrimientos con piedra de río (riprap) de 15 a 20 cm de tamaño y canto rodado de 7 a 14 kg. También se usa asfalto, concreto, telas plásticas y pastos cortos. La corona del dique debe ser de un ancho suficiente aproximadamente 3 m, para permitir el paso vehicular y con pendiente para el drenaje del agua lluvia. Para control de ratas, se recomienda dotar a la laguna de medios que permitan variar el nivel del agua y así inhibir la cría de roedores. En lagunas menores de dos hectáreas, se usan bordes libres mayores de 0.5 m y en lagunas grandes mayores de 1 m.

Los diques deben ser diseñados y construidos para minimizar percolación de agua; la vegetación y el suelo poroso deben removerse y los terraplenes deben compactarse apropiadamente. La pendiente de los taludes depende del material del dique y de la protección prevista contra la erosión. En general se utilizan taludes de 3 H / 1 V (H= horizontal, V= vertical) en taludes internos y mayores de 1.5 H / 1 V en los externos. Las tuberías que atraviesan los diques deben estar dotadas de collares contra la infiltración o nipples pasamuros

que sobresalgan por lo menos 0.6 m sobre la tubería.

Se debe realizar un control sobre los diques; como orientación se presentan algunas señales que indican una posible falla (NPPC, 1996):

- Daño por ondas dentro del dique.
- Aparición de rendijas cerca a la cima del dique.
- Filtración fuera del dique y varios metros fuera de su cima.
- Desarrollo de áreas blandas, muy húmedas o hundimientos.
- Madrigueras de roedores (usualmente alrededor del agua mas limpia en la segunda o tercera laguna).

Se deben tener en cuenta las siguientes medidas de control para el buen funcionamiento de los diques (NPPC, 1996):

- Revisar los diques cada mes o después de lluvias largas y fuertes.
- Mirar si hay sitios despoblados, inicio de arroyos o canales en el dique; si son encontrados rellene con tierra, compacte, resiembre y cubra con paja. Irrigue si es necesario para una buena resistencia.
- Mantener la hierba en el dique y el camino de derrame movidos y fertilizados para crear un césped espeso y realizar la inspección fácilmente.

Impermeabilización: Las lagunas puede impermeabilizarse en forma natural mediante tres mecanismos:

1. Taponamiento físico de los poros del suelo con sólidos sedimentados.
2. Taponamiento químico de los poros del suelo por intercambio iónico.
3. Taponamiento biológico y orgánico por crecimiento sobre el recubrimiento de la laguna.

El taponamiento físico se puede estimular aplicando un polímero orgánico con bentonita cuando la laguna está desocupada.

Los métodos para aplicar la bentonita como recubrimiento son los siguientes:

1. Se coloca en el área a revestir una suspensión de bentonita en agua al 0.5 %, de tal manera que la bentonita sedimente, sobre el suelo, formando una capa delgada.
2. Se mezcla bentonita con el suelo superficial en una proporción de 4.5 kg / m² de suelo.
3. Se prepara un lecho de grava de 15 cm de espesor y sobre este se aplica bentonita en solución al 0.5 %. La bentonita se sedimenta a través de la capa de grava y sella los espacios vacíos.
4. Se riegan 2.5 a 5 cm de bentonita y se cubren con un lecho de 20 a 30 cm de tierra y grava para proteger la membrana formada de bentonita.
5. Se mezcla bentonita con arena en una relación de 1 a 8 en volumen, luego se coloca en un espesor de 5 a 10 cm sobre el fondo de la laguna y se cubre con una capa de protección de arena o suelo. Este método consume 13.5 kg de bentonita por metro cuadrado.

En general se recomienda bentonita más fina que tamiz No. 30 con humedad menor del 20 %. También se usa como impermeabilizante suelo-cemento de la manera siguiente:

1. Se compacta el suelo-cemento estándar al contenido óptimo de humedad, en pendientes hasta de 4 /1. El suelo cemento puede estar sobre la superficie o enterrado.
2. Se prepara un suelo-cemento plástico, semejante al hormigón, agregando gran cantidad de agua y de 3 a 6 sacos de cemento por metro cúbico, para un espesor de 7.5 cm.
3. Se afloja el suelo con rastrillo hasta una profundidad de 5 cm y se deja secar, si es necesario hasta su humedad óptima. Se agregan y distribuyen 8 kg de cemento Portland por metro cuadrado y luego se compacta con un cilindro o

rodillo pequeño. Este método es económico cuando la mano de obra es barata.

Cuando se requiera cero permeabilidad, se utilizan geomembranas las cuales si son escogidas en forma adecuada, resisten la acción de sustancias químicas y son fáciles de instalar. El costo de la impermeabilización es muy variable pues depende de la disponibilidad local de los materiales; en general se ha encontrado que el costo es menor para los recubrimientos con bentonita. Además del dimensionamiento adecuado, para una seguridad total es imprescindible una impermeabilización perfecta de las lagunas y un programa para el uso de los residuos líquidos estabilizados.

Cabe anotar que en sistemas de varias lagunas, se debe prestar particular interés en la primera laguna ya que ésta sufre acumulación de sólidos bioestabilizados anaeróticamente, dándose una pérdida de volumen hasta de un 35 - 40% en un período de 36 meses. Finalmente, investigaciones en impermeabilización han determinado que una lona de plástico de 200 micras de espesor es eficiente y de bajo costo (Konzen E. et al., 1997).

El éxito de la impermeabilización de lagunas con lona plástica está afectado por la presencia de materiales indeseables (cascajo pedregoso, arcilla densa de cerámica o niveles freáticos altos) entre 1,5 y 2 metros de profundidad. Un período ideal para la impermeabilización es cuando el suelo está húmedo, es decir, cuando en la zona donde se va a desarrollar el proyecto inicial las lluvias son leves; una época demasiado lluviosa dificulta las labores de excavación.

Unidades de entrada y salida. Las unidades de entrada y salida tienen por objeto distribuir lo más uniformemente posible el agua en la laguna y prevenir la presencia de cortocircuitos. En general se recomiendan unidades de entrada centrales, por el fondo para depositar el lodo en forma sumergida; la tubería de acceso se voltea y eleva, aproximadamente 45 cm, para evitar taponamiento. En lagunas anaeróbicas, la descarga puede dejarse a 1.5 m sobre el fondo para evitar obstrucciones. Como unidad de paso se puede usar tubería a través del dique.

La unidad de entrada del agua residual debe localizarse a una distancia lo más alejada posible de

la unidad de salida y preferiblemente, en lagunas grandes de más de 8 hectáreas, debe ser de distribución múltiple para que el agua tenga un perfil de velocidad uniforme entre la entrada y la salida, evitando así corrientes y corto circuitos y distribuyendo los sólidos sedimentables sobre un área mayor.

Las tuberías o estructuras de transferencia deben tener capacidad suficiente. La operación de dichas tuberías con lámina de agua en contacto con la atmósfera, permite controlar la formación de espumas y natas; sin embargo si la primera laguna es anaeróbica, se prefiere que las estructuras de transferencia sean sumergidas para así retener la espuma y el sobrenadante. La unidad de salida debe ser preferiblemente sumergida para impedir flujo de sobrenadantes y de biomasa algal. En lagunas grandes se recomiendan unidades múltiples de salida.

Pantallas. Las pantallas o estructuras de partición para subdividir las lagunas, se usan para eliminar los corto-circuitos, crear trayectorias de flujo eficientes, incrementar el tiempo de retención y optimizar las lagunas existentes. Las pantallas pueden ser sumergidas y separadas de tal manera que el área de flujo sea constante. Se construyen con plástico pesado o membranas flexibles adheridas a postes hincados en el fondo de la laguna; también se usan pantallas prefabricadas de plástico soportadas por flotadores. Además de proveer flujo pistón, las pantallas inducen flujo en espiral en las curvas, creando mezcla y rompiendo la tendencia a la estratificación.

Consideraciones adicionales

- En terrenos planos es suficiente excavar solamente lo necesario para obtener el material requerido para construir los terraplenes. El nivel del agua en la laguna debe estar situado por debajo de la batea del último tubo del alcantarillado y por encima del nivel freático; además el suelo excavado debe ser apropiado para compactación y debe mantener su cohesión cuando esta sumergido. El material excavado se compacta en capas de no más de 15 cm de espesor. Por economía, el volumen excavado debe ser igual a aproximadamente 1.1 - 1.3 veces el volumen de relleno.
 - Para aforo se debe instalar preferiblemente una canaleta parshall en la entrada y un vertedero a la salida.
 - Si se requiere bombeo, es necesario colocar una rejilla aguas arriba de las bombas para prevenir su taponamiento por sólidos gruesos.
 - Las lagunas deben ser cercadas apropiadamente. Se pueden usar cercas de alambre de púa, malla u otro material sin que inhiban la acción del viento sobre la superficie de las lagunas. Esto para impedir el acceso libre de personas o animales.
- Antes de poner en servicio una laguna se debe realizar una inspección cuidadosa de la misma a fin de verificar la existencia de las siguientes condiciones:
- Ausencia de plantas y vegetación en el fondo y en los taludes interiores de la laguna.
 - Funcionamiento y estado apropiado de las unidades de entrada, rejilla, unidades de aforo, unidades de paso y de salida.
 - Colocación, tensionamiento y estado adecuado de las pantallas o baffles, cuando haya lugar.

2.1.4 ARRANQUE DE LAS LAGUNAS

Para el procedimiento de puesta en marcha de las lagunas de estabilización se deben tener en cuenta los siguientes requerimientos generales:

- a) En lo posible las lagunas se deben arrancar en verano, pues a mayor temperatura se obtiene mayor eficiencia de tratamiento y menor tiempo de aclimatación.
- b) El llenado de las lagunas debe hacerse lo más rápido posible, para prevenir el crecimiento de vegetación y la erosión de los taludes si el nivel del agua permanece por debajo del margen o tramo protegido.
- c) Para prevenir la generación de malos olores y el crecimiento de vegetación las lagunas deben llenarse por lo menos, hasta un nivel de operación de 0.6 m.
- d) Para lagunas primarias anaeróbicas es recomendable llenarlas con agua residual y deján-

dolas en reposo durante unos pocos días, para permitir el desarrollo de la población bacteriana fermentadora de ácidos y formadora de metano. La aclimatación puede durar unos 20 días, durante este periodo la carga se incrementa gradualmente para mantener condiciones anaeróbicas.

- e) Para lagunas primarias facultativas, se procede inicialmente a llenar con 0.6 m de agua dulce de río o del acueducto. A continuación se introduce el agua residual a una tasa baja, inicialmente 1 /10 del caudal de diseño, manteniendo el pH por encima de 7 y verificando la concentración de oxígeno disuelto para sostener una concentración diurna superior a 2 mg /L. Una vez se alcance el desarrollo de la población bacteriana y algal (posiblemente entre 7 y 30 días), se tendrán las condiciones de aplicación total del caudal.
- f) Para lagunas secundarias facultativas, o lagunas sucesivas de maduración, se procede en forma similar. Se llenan inicialmente con 0.6 m de agua dulce y se introduce agua de la laguna precedente sin llegar a disminuir el nivel de la laguna previa a menos de 1 m. Los niveles de agua en todas las lagunas, se deben igualar antes de proceder a la descarga del efluente.
- g) Cuando no existe agua dulce disponible para el llenado de lagunas facultativas y/o de maduración, las lagunas se cargan con agua residual y se dejan en reposo durante 20 días para el desarrollo de la población bacteriana y algal agregando diariamente sólo el agua requerida para suplir pérdidas por evaporación y/o percolación. Posteriormente las lagunas se cargan con incrementos graduales y progresivos de caudal hasta obtener el caudal de operación normal.

2.1.5 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

La operación y el mantenimiento de las lagunas de estabilización tiene los siguientes objetivos básicos

- Mantener limpias las estructuras de entrada, interconexión y salida.
- Mantener en las lagunas facultativas primarias un color verde intenso brillante, el cual indica

pH y Oxígeno Disuelto (OD) altos.

- Mantener una concentración alta de OD en lagunas de maduración.
- Mantener libre de vegetación la superficie del agua.
- Mantener adecuadamente podados los taludes para prevenir problemas de insectos y erosión.
- Mantener un efluente con concentraciones mínimas de la DBO y los Sólidos Suspendidos (S.S).
- Mantener en las lagunas anaeróbicas un pH aproximado a 7 y un manto denso de nata sobrenadante que minimice la generación de olores.

Las actividades típicas de operación y mantenimiento incluyen:

- Mantener la rejilla de entrada limpia en todo momento removiendo el material retenido. Este debe ser desaguado y tratado adecuadamente. Es recomendable medir el volumen diario de material dispuesto.
- Mantener controlada la vegetación de los diques impidiendo su crecimiento más allá del nivel del triturado o grava de protección contra la erosión.
- Remover toda vegetación emergente en el talud interior de las lagunas.
- Cortar el pasto de los taludes exteriores y áreas circunvecinas, para mantenerlo en una altura máxima de 15 cm.
- Verificar el estado adecuado del triturado o grava de protección de los diques.
- Remover la nata sobrenadante de lagunas facultativas o de maduración y disponerla adecuadamente.
- Mantener limpias las unidades de entrada, interconexión y salida. Lubricar si es el caso, válvulas y/o compuertas existentes.

- Inspeccionar y prevenir cualquier daño en diques, cercas o unidades de entrada, interconexión y salida.

Dentro de las opciones para remover lodos se tienen:

- Dragas o cucharones.
- Vaciado de la laguna, permitiendo que se sequen los sólidos antes de removerlos con un cargador.
- Bombeo.

Las principales recomendaciones durante la remoción de lodos son:

- Remover el agua de la parte superior de la laguna y utilizando un agitador de cuchillas para mezclar el lodo y luego bombearlo.
- Adicionar agua de dilución y repetir esta operación hasta que el lodo es retirado completamente.

2.1.6 CONTROL DE LAS LAGUNAS

El control adecuado del proceso de tratamiento exige el registro por parte del operador, de los caudales de aguas residuales y de las características del afluente, dentro de la laguna y del efluente. El color es uno de los parámetros más sencillos de determinar y su observación permite visualizar el estado general de la laguna como se indica en la tabla 7.

En la tabla 8, se presentan algunas recomendaciones referentes a las determinaciones típicas de control en lagunas de estabilización y su frecuencia de análisis. Para los análisis de pH, OD y coliformes fecales se acostumbra utilizar muestras instantáneas, a la misma hora del día, que puede ser a las 8 de la mañana; para los análisis de muestras en las lagunas se utilizan muestras tomadas al salir el sol y en la mitad de la tarde y para efluentes se prefieren muestras compuestas.

Tabla 7. Uso del color como indicador visual (Romero R. J., 1994 [C])

COLOR	INDICADOR
Verde oscuro brillante.	Bueno, pH alto, OD alto.
Verde opaco a amarillo	Regular, pH y OD en disminución. Predominio de algas azul verdosas.
Gris a negro	Malo, laguna anaeróbica
Canela a carmelito	Bueno si es debido a algas carmelitosas. Malo si es debido a erosión del dique.
Rojo a rosado	Presencia de bacterias púrpuras del azufre en lagunas anaeróbicas. Presencia de algas rojas en lagunas anaeróbicas.

Tabla 8. Parámetros y controles típicos de operación recomendados en las lagunas de estabilización (Romero R. J., 1994 [C])

Parámetro	Afluente	Laguna	Efluente	Frecuencia
Caudal	✓	×	✓	Diaria
Color	✓	✓	✓	Diaria
Temperatura	✓	✓	✓	Diaria
pH	✓	✓	✓	Diaria
OD	✓	✓	✓	Diaria
DBO total	✓	×	✓	Cada 2 meses
DQO Total	✓	×	✓	Cada 2 meses
Sólidos Suspendidos	✓	×	✓	Cada 2 meses
Coliformes fecales	✓	×	✓	Cada dos meses

Las muestras de las lagunas se pueden componer con base en cuatro muestras instantáneas iguales tomadas en las cuatro esquinas de la laguna, preferiblemente a 0.3 m por debajo de la superficie del agua y a 2.5 m desde el filo del agua. Las muestras de los efluentes se pueden componer con base en muestras instantáneas, proporcionales al caudal, tomadas a diferentes horas del día. Otros parámetros útiles para control, son los de la DBO y la DQO solubles, nitrógeno amoniacal, sulfatos, sulfuros, clorofila y profundidad de lodos.

Los informes de control deben incluir las características promedio del agua residual cruda y de los efluentes, así como las cargas orgánicas promedio, los tiempos de retención y las remociones porcentuales de DBO, DQO, SS y CF.

Como cualquier sistema de tratamiento, las lagunas de estabilización pueden presentar problemas que hacen necesario ejecutar los correctivos requeridos para su solución. A continuación se presentan algunos de los problemas más comúnmente encontrados y sus posibles soluciones:

1. Problemas de olores en lagunas anaeróbicas

Señal indicadora	Posible causa	Solución
Olores desagradables; olor a huevo podrido por H_2S ; pH menor de 6.5	Ausencia de nata gruesa sobrenadante; bacterias fermentativas que producen ácido a una velocidad mayor que la de utilización por las bacterias metanogénicas; carga orgánica insuficiente.	Agregar cal al 20% en dosis de 10 mg/L al afluente. Usar paja o láminas de poliestireno como ayuda para establecer una nata sobrenadante protectora de buena calidad.

- Inspeccionar y prevenir cualquier daño en diques, cercas o unidades de entrada, interconexión y salida.

Dentro de las opciones para remover lodos se tienen:

- Dragas o cucharones.
- Vaciado de la laguna, permitiendo que se sequen los sólidos antes de removerlos con un cargador.
- Bombeo.

Las principales recomendaciones durante la remoción de lodos son:

- Remover el agua de la parte superior de la laguna y utilizando un agitador de cuchillas para mezclar el lodo y luego bombearlo.
- Adicionar agua de dilución y repetir esta operación hasta que el lodo es retirado completamente.

2.1.6 CONTROL DE LAS LAGUNAS

El control adecuado del proceso de tratamiento exige el registro por parte del operador, de los caudales de aguas residuales y de las características del afluente, dentro de la laguna y del efluente. El color es uno de los parámetros más sencillos de determinar y su observación permite visualizar el estado general de la laguna como se indica en la tabla 7.

En la tabla 8, se presentan algunas recomendaciones referentes a las determinaciones típicas de control en lagunas de estabilización y su frecuencia de análisis. Para los análisis de pH, OD y coliformes fecales se acostumbra utilizar muestras instantáneas, a la misma hora del día, que puede ser a las 8 de la mañana; para los análisis de muestras en las lagunas se utilizan muestras tomadas al salir el sol y en la mitad de la tarde y para efluentes se prefieren muestras compuestas.

Tabla 7. Uso del color como indicador visual (Romero R. J., 1994 [C])

COLOR	INDICADOR
Verde oscuro brillante.	Bueno, pH alto, OD alto.
Verde opaco a amarillo	Regular, pH y OD en disminución. Predominio de algas azul verdosas.
Gris a negro	Malo, laguna anaeróbica
Canela a carmelito	Bueno si es debido a algas carmelitosas. Malo si es debido a erosión del dique.
Rojo a rosado	Presencia de bacterias púrpuras del azufre en lagunas anaeróbicas. Presencia de algas rojas en lagunas anaeróbicas.

Tabla 8. Parámetros y controles típicos de operación recomendados en las lagunas de estabilización (Romero R. J., 1994 [C])

Parámetro	Afluente	Laguna	Efluente	Frecuencia
Caudal	✓	×	✓	Diaria
Color	✓	✓	✓	Diaria
Temperatura	✓	✓	✓	Diaria
pH	✓	✓	✓	Diaria
OD	✓	✓	✓	Diaria
DBO total	✓	×	✓	Cada 2 meses
DQO Total	✓	×	✓	Cada 2 meses
Sólidos Suspendidos	✓	×	✓	Cada 2 meses
Coliformes fecales	✓	×	✓	Cada dos meses

Las muestras de las lagunas se pueden componer con base en cuatro muestras instantáneas iguales tomadas en las cuatro esquinas de la laguna, preferiblemente a 0.3 m por debajo de la superficie del agua y a 2.5 m desde el filo del agua. Las muestras de los efluentes se pueden componer con base en muestras instantáneas, proporcionales al caudal, tomadas a diferentes horas del día. Otros parámetros útiles para control, son los de la DBO y la DQO solubles, nitrógeno amoniacal, sulfatos, sulfuros, clorofila y profundidad de lodos.

Los informes de control deben incluir las características promedio del agua residual cruda y de los efluentes, así como las cargas orgánicas promedio, los tiempos de retención y las remociones porcentuales de DBO, DQO, SS y CF.

Como cualquier sistema de tratamiento, las lagunas de estabilización pueden presentar problemas que hacen necesario ejecutar los correctivos requeridos para su solución. A continuación se presentan algunos de los problemas más comúnmente encontrados y sus posibles soluciones:

1. Problemas de olores en lagunas anaeróbicas

Señal indicadora	Posible causa	Solución
Olores desagradables; olor a huevo podrido por H ₂ S; pH menor de 6.5	Ausencia de nata gruesa sobrenadante; bacterias fermentativas que producen ácido a una velocidad mayor que la de utilización por las bacterias metanogénicas; carga orgánica insuficiente.	Agregar cal al 20% en dosis de 10 mg/L al afluente. Usar paja o láminas de poliestireno como ayuda para establecer una nata sobrenadante protectora de buena calidad.

2. Problemas de crecimiento de plantas acuáticas

Señal indicadora	Posible causa	Solución
Presencia de vegetación y plantas acuáticas sobre la superficie del agua y sobre los taludes interiores.	Falta de mantenimiento, baja profundidad de agua, circulación deficiente del agua. Falta de mantenimiento, baja profundidad de agua, circulación deficiente del agua.	Remoción de toda la vegetación que se encuentre sobre la superficie del agua desde un bote o desde los diques. Aumentar el nivel del agua por encima de la vegetación.

3. Problemas de roedores en los diques

Señal indicadora	Posible causa	Solución
Alta población cerca a la laguna. Residuos de alimento que atraen a los animales.	Daños en los diques. Las ratas y las nutrias excavan túneles sumergidos.	Remoción de plantas y de alimento de las áreas adyacentes. Elevar y bajar en forma alterna el nivel del agua para desestimular el crecimiento de los roedores. Colocar cebos y trampas.

4. Problemas de espumas y natas

Señal indicadora	Posible causa	Solución
Formación de espuma y nata superficial.	Flotación de lodo, mala circulación, acción de viento, alto contenido de grasas, aceites y detergentes.	Romper la espuma y natas con chorros de agua o removerla físicamente y disponerla adecuadamente.

5. Problemas de algas azul-verdosas

Señal indicadora	Posible causa	Solución
Malos olores por la muerte de las algas. Color azul-verdoso del agua.	pH < 6.5 y OD < 1 mg/L. sobrecarga en la laguna. Balance de nutrientes deficitario.	Aplicar 3 veces solución de sulfato de cobre así: ? Si la alcalinidad es > 50 mg/L aplicar 1 g /m ³ . ? Si la alcalinidad es < 50 mg /L aplicar 0.6 g /m ³ .

6. Problemas de insectos

Señal indicadora	Posible causa	Solución
Mantenimiento pobre. Mala circulación.	Presencia de insectos o larvas de insectos en la laguna.	Mantener la laguna sin vegetación ni espuma. Sembrar pez gambusia. Aplicar un insecticida. Cortar el pasto frecuentemente.

2.2 DIGESTIÓN ANAERÓBICA

Con el fin de lograr un mejor entendimiento de la digestión anaerobia a continuación se presentan algunos conceptos básicos:

Fermentación Anaeróbica. Es un proceso biológico que consiste en la descomposición (o degradación) de desechos orgánicos por la acción de bacterias en un ambiente carente de oxígeno, durante la cual se produce la liberación de una mezcla de gases conocida como biogás. La digestión anaerobia descompone la materia orgánica en una forma mas estable, reduciendo el potencial de olores.

La fermentación anaeróbica pone en juego diversas poblaciones de microorganismos. Los sustratos utilizados por estas bacterias y los productos que ellas fabrican permiten distinguir cuatro fases en la biosíntesis del metano hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis (Scriban R. 1985):

- **Hidrólisis:** Despolimerización y transformación de moléculas del sustrato (lípidos, glúcidos, proteínas etc.) en moléculas más sencillas por acción de las bacterias hidrolíticas.
- **Acidogénesis:** En esta etapa una parte de los monómeros producidos por la hidrólisis son transformados en ácidos grasos (ácido acético, propiónico, butírico etc.), alcoholes (metanol, etanol etc.), gas carbónico e hidrógeno.
- **Acetogénesis:** Esta etapa es primordial en el proceso dado que transforma a los productos de la acidogénesis en precursores del metano (ácido acético, ácido fórmico, hidrógeno y gas carbónico). Estas reacciones permiten evitar una acumulación de ácidos grasos volátiles,

diferentes al acético, los cuales a concentraciones muy elevadas se convierten en inhibidores de la metanogénesis

- **Metanogénesis:** En esta etapa las bacterias realizan la síntesis del metano especialmente a partir de ácido acético, hidrógeno y gas carbónico.

Materiales de fermentación. Los desechos utilizados como materia prima pueden ser de origen animal como estiércol de ganado vacuno, de cerdos, ovejas, caballos, aves, etc.; de origen vegetal como pulpa de café, hojas de papa, desechos de banano, remolachas, cascarilla de arroz y otros; y de origen doméstico consistente en las aguas residuales de letrinas y cocina, sin contenido de jabón.

El Biogás. Es un producto de la fermentación anaeróbica, esta compuesto por una mezcla de gases principalmente de metano (CH₄) y bióxido de carbono (CO₂). Usualmente también incluye pequeñas cantidades de hidrógeno (H₂), ácido sulfhídrico (H₂S), Nitrógeno (N₂), monóxido de carbono (CO) y trazas de agua (H₂O). Se estima que la producción de biogás a partir del estiércol de un (1) cerdo adulto es de 0,28 a 0,34 m³/día. Se considera que por cada metro cúbico (m³) de biodigestor se producen 0,25 m³ de biogás. Cuando la digestión anaeróbica ocurre en condiciones óptimas el contenido del biogás es el siguiente:

CH ₄	54 - 70 %	CO	0.1 %
CO ₂	27- 45 %	O ₂	0.1%
N ₂	0.3 - 3%	H ₂ S	Trazas
H ₂	1- 10 %		

El efluente. Lodo bastante fluido constituido por la fracción orgánica que no alcanza a fermentarse y por el material agotado (biomasa muerta). Su

composición química, el contenido de materia orgánica y otras propiedades, dependen de las características de la materia prima utilizada y de factores ambientales.

Plantas de tratamiento anaeróbico. Los componentes básicos de una planta de tratamiento anaeróbico son:

Tanque de mezcla. Es una caja de mampostería o concreto donde se realiza la mezcla de estiércol y agua, que luego se introduce en la cámara de digestión a través del tubo de entrada.

Biodigestor (Reactor o fermentador). Es un tanque donde se produce la fermentación anaeróbica. Usualmente se construye en concreto o mampostería de ladrillo, fibra de vidrio, acero inoxidable y las plantas tipo balón con material plástico.

El Gasómetro. Es la sección donde se almacena el gas; el gasómetro y el digestor pueden constituir un solo cuerpo o estar separados.

Tanque de descarga. Como su nombre lo indica, recibe el material digerido o efluente. En el caso de la planta de cúpula fija, sirve además, como tanque de compensación de presiones.

La digestión anaerobia puede ser una alternativa viable para ser utilizada en el tratamiento del estiércol y de las aguas de lavado de los corrales, teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Disponer de operarios con la habilidad para mantener un sistema de digestión anaerobia.
- Corrientemente tratar el estiércol como líquido.
- El control de olor es de gran importancia.
- Disponibilidad de espacio para expandir el sistema de manejo existente.

En términos generales la digestión anaeróbica controlada, presenta las siguientes ventajas:

- Reducción sustancial en la posibilidad de generación de olores al aplicar el efluente y el lodo digerido al suelo.
- Producción de energía.
- El estiércol digerido es más fácil de almace-

nar y de bombear.

- Reducción del contenido de materia orgánica.

Las principales desventajas de la digestión anaeróbica controlada se destacan:

- Se requieren grandes inversiones iniciales.
- Necesidad de mantenimiento.
- El metano y el aire pueden formar una mezcla explosiva.
- El arranque del sistema puede ser lento y difícil ya que las bacterias productoras de metano son de lento crecimiento.

2.2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS FERMENTADORES ANAERÓBICOS

Fermentador de cúpula fija. Su principal característica es que trabaja con presión variable. Consiste en un recipiente cerrado en forma de bóveda esférica, con el gasómetro fijo e inmóvil. El gas se almacena en un volumen libre en la parte superior del biodigestor; cuando éste se llena, la presión desplaza el material de fermentación hacia el tanque de compensación. Si el consumo de biogás excede al producido en el digestor, el volumen ocupado por el biogás disminuye y por tanto el substrato desplazado regresa al digestor. En consecuencia, la presión fluctúa dependiendo de la cantidad de biogás almacenado.

Presenta como ventajas principales:

- La fácil consecución de los materiales de construcción a nivel local.
- La inexistencia de partes metálicas que puedan oxidarse.
- Una larga vida útil, si se le da buen mantenimiento.

Sus desventajas más representativas son:

- La presión del gas no es constante.
- La cúpula debe ser completamente hermética lo que indica cierta complejidad en la construc-

ción y costos adicionales en el proceso de impermeabilización.

Fermentador con campana flotante. Este tipo de reactor fue desarrollado en la India. Consiste en un digestor de forma cilíndrica o esférica, que se caracteriza por tener un depósito de gas móvil a manera de campana flotante; esta puede flotar en la masa de fermentación (tipo hindú) o en un anillo de agua.

En este tipo de digestor, el biogás se acumula en la campana haciéndola subir y cuando es extraído a través de un tubo de descarga la hace bajar. Para evitar que la campana se ladee, se construye un soporte de hierro como guía. La campana puede girar libremente, de manera que también cumple la función de romper la capa flotante que se forma en la parte superior del digestor.

Las ventajas de este tipo de fermentador son:

- Trabaja a presión constante.
- Es posible determinar la cantidad de biogás almacenado midiendo el nivel de la campana.

En contraposición los digestores de campana fija presentan las siguientes características:

- Esta expuesta a la corrosión, debido a que las campanas son generalmente metálicas.
- Presenta altos costos de construcción y de mantenimiento debido al uso periódico de pintura anticorrosiva.

Fermentadores tipo balón. Consiste en una bolsa o balón plástico completamente sellado. El gas se almacena en la parte superior, ocupando un 25% del volumen total del reactor aproximadamente. Los tubos de entrada y salida están directamente sujetos a la pared de la bolsa. El digestor funciona como una de cúpula fija cuando la cámara de biogás esta llena. Su costo comparado con el de cúpula fija se puede reducir en un 50% o mas. Este tipo de fermentadores se recomienda donde se tienen temperaturas medias y altas. Su instalación es rápida y sencilla. Tienen una corta vida útil de aproximadamente 5 años.

El material plástico debe ser resistente a la intemperie, así como a los rayos ultravioleta y debe pro-

tegerse de la caída de piedras, ramas, del paso de animales y personas que un momento determinado pudieran agujerear el plástico. Un material recomendado es la plastilona 500.

Reactor UASB. El reactor anaeróbico de flujo ascendente con manto de lodos (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), fue desarrollado en los años 70's por Lettinga y su grupo en la Universidad de Wageningen en Holanda. El reactor UASB es el reactor anaeróbico de alta carga mas ampliamente usado en el mundo. La principal característica del UASB es el separador de fases, colocado en la parte superior del reactor. El UASB esta constituido por tres partes:

1. Manto de lodos anaerobios. Conformado principalmente por lodo con características granuladas. El lodo esta constituido por biomasa activa presente en alta concentración, la que permite que se alcancen altos porcentajes de remoción de materia orgánica. El agua residual alimentada tan uniformemente como sea posible y el biogás producido sirven principalmente para agitar y mantener un contacto permanente entre el lodo y el agua residual.
2. Sedimentador. En esta región del reactor deben existir condiciones de flujo laminar para que el material coloidal sedimente y regrese a la zona de digestión (Manto de lodos). La presencia de un sedimentador en la parte superior de la zona de digestión ayuda al sistema a mantener una gran masa de lodos en el reactor UASB, mientras se obtiene un efluente esencialmente libre de sólidos suspendidos.
3. Separador gas- líquido. Aquí se lleva a cabo la separación del gas del efluente además de retener las partículas de lodo con bajas características floculentas que son transportadas por las burbujas de biogás.

2.2.1.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y REPARACIÓN

La vigilancia y reparación de aparatos operados con biogás, válvulas, conexiones y uniones en donde se puedan presentar problemas de corrosión y por consiguiente fugas debe ser regular. Estos escapes se pueden detectar con una solución jabonosa aplicada sobre el punto chequeado.

Es fundamental descargar el biodigestor cuando se nota dificultad en la entrada de la mezcla por el tubo de carga o en la salida del efluente hacia la caja de compensación; estos inconvenientes pueden aparecer después de dos años o más y se debe a que los desechos en el fondo del biodigestor llegan a obstruir los extremos de los dos conductos. La limpieza consiste básicamente en retirar los lodos sedimentados y la nata que se encuentra acumulada en el fondo del digestor. Parte del material líquido extraído del digestor puede usarse nuevamente en la siguiente carga.

2.2.1.2 PROBLEMAS COMUNES DE OPERACIÓN Y FUNCIONAMIENTO

Sobrecarga del fermentador anaeróbico. Un biodigestor se encuentra sobrecargado cuando el volumen total de biomasa es mayor que el volumen útil del reactor. El problema de sobrecarga se detecta cuando al evaluarse la presión esta es cero y el nivel del efluente en la caja de compensación es alto. Este problema se soluciona desalojando el efluente hasta un nivel adecuado y efectuando la carga normalmente. En caso de que exista mucho líquido en el interior del sistema, es conveniente sacar el exceso, ya que un material de fermentación muy diluido conlleva a una baja producción de biogás.

Baja producción de Biogás. Además de la sobrecarga, existen otras causas que ocasionan una baja o nula producción de biogás:

- El material de carga es insuficiente.
- El material de fermentación está muy diluido.
- Alteraciones en el proceso biológico, que pueden ser ocasionadas por una caída del pH o por la entrada de sustancias inhibitorias o tóxicas para el proceso como jabones, detergentes, metales pesados, antibióticos entre otros.

Bajo grado de fermentación. Es causado por un volumen de carga excesivo. Se detecta cuando el efluente tiene mal olor, está muy espeso o cuando se observan muchas burbujas en la superficie del tanque de compensación.

2.2.2 USO DEL BIOGÁS Y DEL EFLUENTE DE UN SISTEMA DE FERMENTACIÓN ANAERÓBICO

El biogás es usado como cualquier otro combustible para uso doméstico e industrial; el requisito indispensable es que exista la disponibilidad de quemadores diseñados especialmente para operar con biogás. Algunos aparatos en los cuales se podría utilizar son :

- Estufas
- Lámparas
- Refrigeradores
- Calentadores
- Incubadoras
- Motores de generación eléctrica (Zapata C.A. 1998).

Para la conservación de los aparatos operados con biogás, especialmente en los motores se debe extraer el ácido sulfhídrico (H_2S) contenido en el gas. Para lograr esta purificación se emplean varios sistemas:

- Filtros de óxido de hierro (FeO_2). Para esto se puede utilizar la viruta de hierro, la cual se puede regenerar con exposición al aire libre. El aire debe inyectarse con cuidado al filtro y puede hacerse con bombas para acuarios.
- Adición de FeO_2 al sustrato. Adicionando 500 g por cada 4000 litros de sustrato, el contenido de H_2S pasa de 0,2% a 0,07%. Esta cantidad debe suministrarse diariamente.
- Aprovechamiento de la condensación de agua. Cuando se condensan grandes cantidades de vapor de agua del biogás, se absorbe allí mismo grandes cantidades de H_2S , alcanzando remociones de un 30 a 40% del ácido. Este método es muy usado en climas fríos.
- Por adición de aire. Se ha encontrado que adicionando aire en pequeñas cantidades al depósito de almacenamiento de biogás, se reduce la concentración de H_2S . El suministro de aire debe ser controlado, para no crear una mezcla explosiva.

Debido a que en el proceso de fermentación solo se remueven los gases generados (CO_2 , CH_4 , H_2S)

que representan del 5 al 10% del volumen total de material de carga, mientras que la mayoría de los nutrientes (Nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), magnesio (Mg)) y elementos menores contenidos en el líquido alimentado al biodigestor, se conservan durante el proceso de digestión. En el caso del nitrógeno, buena parte del mismo, presente en el estiércol en forma de macromoléculas es convertido a formas más simples como el amonio (NH_4^+), las cuales pueden ser aprovechadas directamente por la planta. Debe notarse que en los casos donde el estiércol es secado al medio ambiente, se pierde alrededor del 50% del nitrógeno. Los nutrientes anteriores son esenciales para las plantas, por tal razón el efluente del fermentador anaeróbico puede usarse como fertilizante orgánico, prácticamente libre de olores y de fácil aplicación. Dentro de las principales ventajas que tiene la utilización del efluente como abono orgánico se tienen:

- El efluente lleva parte de sus nutrientes que son liberados paulatinamente mediante ciertos procesos de descomposición de la materia orgánica. De esta forma la nutrición es lenta, pero continua.
- Aumenta el contenido de humus del suelo, lo que mejora la estructura del terreno. Se facilita la aireación, la velocidad de formación de depósitos de nutrientes y la capacidad de retención e infiltración de agua.
- Permite un ahorro de una cantidad de otros abonos convencionales sin disminución de la producción.
- Presenta incremento de la producción, al compararla con la de suelos no abonados.

El efluente de los sistemas de fermentación anaeróbica puede ser utilizado como alimento para peces, en lagos o estanques artificiales; en este caso es necesario exponerlo al sol y al aire durante unos dos días, para evitar que consuma el oxígeno del agua. Después de la aireación se distribuye uniformemente sobre el lago.

La lombricultura es otra actividad en la cual puede ser utilizado el efluente. Normalmente se emplea seco, como sustrato principal o en forma líquida

mezclado con residuos sólidos como paja de arroz, paja de maíz o sorgo, entre otros.

2.3 SEPARACIÓN SÓLIDO- LÍQUIDO

La separación sólido-líquido ha sido usada en una forma u otra en las granjas porcícolas por cerca de 30 años. Debido a que el estiércol se separa en una fracción líquida y una sólida, se requieren equipos para ambas situaciones. Los sistemas mecánicos pueden remover 25 % o más de los sólidos mientras otros sistemas que utilizan la gravedad pueden remover más del 50 %.

El tipo más simple de unidad de separación por gravedad es dimensionada para almacenar por varias horas el estiércol, el sobreflujo para almacenamiento o adicional almacenamiento. Existen varios beneficios debido a la separación sólido-líquido. Si un tanque de sedimentación es diseñado para ser desocupado cada 2 o 3 meses, usando un equipo de agitación y de manejo de líquidos, debe ser utilizada una cubierta para controlar los olores generados. La separación sólido-líquido por gravedad es generalmente menos costosa que la separación mecánica; los sólidos son más húmedos y menos estables que los sólidos separados mecánicamente.

Características de la separación sólido y líquido:

- 1 Se reduce a la mitad la acumulación de lodos en las lagunas.
- 1 Reduce la acumulación de sales que precipitan en las bombas y tuberías.
- 1 Baja las velocidades de carga en las lagunas alrededor del 25 % para mejorar el desempeño y reducir olores.

Métodos de separación:

- 1 Tornillo de presión, rodillo de presión, cinta de presión
- 1 Tamiz inclinado
- 1 Tamiz vibratorio
- 1 Centrifuga
- 1 Por gravedad
- 1 Floculantes

Características de los separadores mecánicos de sólidos líquidos:

- 1 Desagüe del estiércol al sumidero con 3 o 4 días de almacenamiento y bombeo a la uni-

dad de separación

- 1 Puede remover mas del 30 % de los sólidos totales
- 1 Remueve más del 25 % de materia orgánica biodegradable
- 1 Los sólidos separados son mas estables (menos olor) que el estiércol líquido durante el almacenamiento y la aplicación al terreno
- 1 El sistema mecánico requiere mantenimiento

Características de la separación sólido-líquido por gravedad:

- 1 Muchos sólidos del estiércol de cerdo sedimentan en tiempos de 10 a 15 minutos, pero alguna sedimentación continua por horas
- 1 Mas del 30 % de los sólidos pueden ser removidos
- 1 La adición de agua de dilución mejora la sedimentación
- 1 Los tiempos de retención oscilan entre 10 minutos y 12 meses
- 1 Generalmente menos costosos que la separación mecánica
- 1 Los sólidos son mas húmedos y menos estables que los sólidos separados mecánicamente
- 1 Debe existir un fondo en pavimento para el tanque facilitando la remoción por medio de un cargador

2.3.1 SEDIMENTADORES

Se denomina sedimentación la operación a través de la cual se remueven las partículas sólidas de una suspensión mediante la fuerza de gravedad. En el tratamiento de aguas residuales, la sedimentación se usa principalmente para remover sólidos suspendidos sedimentables, tratamiento primario, y para la remoción de material orgánico y biomasa preformada en los sistemas de tratamiento secundario y para espesamiento de lodos.

2.3.1.1 TIPOS DE SEDIMENTACION

La sedimentación ocurre de maneras diferentes, según la naturaleza de los sólidos, su concentración y su grado de floculación. En el agua se pueden encontrar partículas llamadas discretas, las cuales no cambian su tamaño, forma o peso cuando se sedimentan, y partículas floculentas y precipitantes en las cuales propiedades como la densi-

dad y el volumen cambian a medida que ellas se adhieren unas a otras mediante mecanismos de floculación, precipitación, arrastre o barrido.

Sedimentación tipo 1: Se refiere a la remoción de partículas discretas no floculentas en una suspensión diluida; en otras palabras, es el tipo de sedimentación libre, no interferida, función solamente de las propiedades del fluido y de la partícula.

Sedimentación tipo 2: Se refiere a la sedimentación de suspensiones diluidas de partículas floculentas, en las cuales es necesario considerar las propiedades floculentas de la suspensión junto con las características de asentamiento de las partículas. Ocurre generalmente en el tratamiento de aguas residuales.

En este tipo de sedimentación, tanto la densidad como el volumen de las partículas cambia a medida que ellas se adhieren unas a otras mediante mecanismos como la floculación y la precipitación química. Como resultado, las velocidades de asentamiento de las partículas cambian con el tiempo y la profundidad, es decir que la remoción es función no solo de la carga superficial sino también de la profundidad y el tiempo de retención.

Sedimentación zonal: Describe la sedimentación másica de partículas discretas y se refiere al proceso de sedimentación de suspensiones de concentración intermedia de material floculento, en las cuales se presenta un asentamiento interferido de acuerdo a la cercanía entre ellas. Dicha cercanía permite a las partículas, gracias a la fuerza entre ellas, tener una posición relativa fija de unas con otras; se forma una matriz porosa soportada por el fluido que desplazan y como resultado, la masa de partículas se desplaza hacia el fondo como un solo bloque.

Compresión: Ocurre cuando la concentración aumenta a un valor en que las partículas están en contacto físico unas contra otras y el peso de ellas es sostenido parcialmente por la masa compactada.

En la práctica, durante una operación de sedimentación, es común que se presente más de un mismo tipo de sedimentación al mismo tiempo y es posible que coincidan todos los cuatro tipos.

TANQUE DE SEDIMENTACION (SEDIMENTACION TIPO I)

Para propósitos teóricos, se acostumbra dividir el tanque de sedimentación en cuatro zonas: zona de entrada, zona de salida, zona de lodos y zona de asentamiento.

La zona de entrada tiene como función suministrar una transición suave entre el flujo de entrada y el flujo uniforme permanente deseado en la zona de sedimentación; el caudal de distribución del afluente sobre toda la zona transversal del tanque es uniforme para que el flujo siga trayectorias horizontales a través de la zona de asentamiento.

La zona de salida provee una transición suave entre la zona de asentamiento y el flujo efluente.

La zona de lodos tiene como función recibir el material sedimentado e impedir que interfiera con el asentamiento de partículas en la zona de sedimentación; se supone que toda partícula que alcanza esta zona es removida efectiva y realmente de la suspensión.

La zona de sedimentación suministra el volumen de tanque necesario para el asentamiento libre de interferencia proveniente de las otras tres zonas.

SEDIMENTACION TIPO 2

En este tipo de sedimentación se debe tener en cuenta las propiedades floculentas de la suspensión además de las características de sedimentación de las partículas.

Dos partículas que se aglomeran durante su asentamiento pierden su velocidad individual de sedimentación, haciéndolo con otra velocidad diferente y característica de la partícula formada, generalmente mayor que las velocidades originales. Este tipo de sedimentación, conocido como sedimentación floculenta, es el tipo de sedimentación más común en purificación y tratamiento de aguas. En este tipo de sedimentación tanto la densidad como el volumen de las partículas cambian a medida que ellas se adhieren unas a otras mediante el mecanismo de floculación y precipitación química.

SEDIMENTACION DE TASA ALTA

Por sedimentación de tasa alta, sedimentadores de poca profundidad, se entiende sedimentación en elementos poco profundos, en módulos de tubos circulares o de otras formas, en tanques poco profundos, con tiempos de retención menor de 15 minutos.

2.3.1.2 CRITERIOS DE DISEÑO

Los criterios de diseño de sedimentadores para clarificación del agua se basan en valores obtenidos a través de la experiencia en la operación de prototipos de plantas y plantas de tratamiento de aguas residuales.

- Propiedades de asentamiento de los sólidos. Se refiere a las propiedades del agua y de sus sólidos suspendidos que afectan la sedimentación: Temperatura del agua, densidad de las partículas y tamaño de estas y viscosidad cinemática.
- Profundidad. La eficiencia del tanque de sedimentación es afectada por el grado de floculación de los sólidos suspendidos, el cual a la vez depende del tiempo de retención, sin embargo la eficiencia de remoción no está relacionada linealmente con el tiempo de retención; así, por ejemplo, si el 80% de los sólidos suspendidos son removidos en un tiempo de retención de dos horas, es posible que con tres horas de retención solo se remuevan 90%. Además como los tanques profundos son más costosos, no son deseables bajo esta circunstancia.
- Tiempo de retención. Cuando el agua va a ser utilizada sin filtración se proveen tiempos de retención hasta de doce horas.
- Velocidad horizontal. La velocidad de flujo a través del tanque de sedimentación no será uniforme en toda la sección transversal del tanque, perpendicular a la dirección del flujo, aunque la entrada y salida sean diseñadas para distribución uniforme, debido a la existencia de corrientes de densidad, corrientes de inercia, cortocircuito y operación de mecanismos de remoción de lodos.

La corriente de densidad es el flujo de un fluido dentro de otro, relativamente quieto, con una densidad diferente. Las diferencias de densidad se deben a diferencias de temperatura, contenido de sales o contenido de material suspendido.

El corto circuito se presenta cuando una porción del fluido atraviesa el tanque en un tiempo menor que el tiempo de retención. El corto circuito se incrementa mediante mezcla del contenido del tanque, altas velocidades de entrada, y por corrientes de densidad. Para minimizar las interferencias mencionadas, la velocidad en un tanque de sedimentación debe mantenerse entre 0,25 y 1,5 cm/s.

- Unidades de entrada y salida del sedimentador. La mejor unidad de entrada es la que permita la entrada del agua al sedimentador sin tuberías ni canales. El principal propósito de la unidad de entrada es proveer una transición suave entre la velocidad relativamente alta de la tubería afluente y la velocidad baja deseable en la zona de asentamiento para minimizar su interferencia con este proceso. La unidad de salida provee una transición suave entre la velocidad de flujo de sedimentador y la velocidad en la tubería efluente.
- Almacenamiento de lodos. Al diseñar el sedimentador hay que tener en cuenta el volumen destinado al almacenamiento de lodos. Los lodos generalmente se mueven hidráulicamente hacia una tolva de donde son extraídos mediante una tubería de desagüe. Para el arrastre de los lodos se puede usar equipo mecánico, de movimiento lento para no alterar el proceso de sedimentación o resuspensión de los lodos; por esto la velocidad de arrastre de los lodos debe ser menor a 0,5 cm/s. La pendiente longitudinal varía entre 2 y 3% y la transversal del 10 al 12%, con un diámetro mínimo de desagüe de 15 cm.
- Criterios adicionales para diseño de sedimentadores.

1. Los sedimentadores deben tener capacidad suficiente para el trabajo adecuado para caudales extremos de la planta.
2. En tanques rectangulares se usa comúnmente una relación longitud/ancho entre 3/1 a 5/1.
3. Los lodos pueden recogerse en una o más tolvas; se debe poder desocupar el tanque en un tiempo de 30-60 minutos.

2.3.2 FILTRACION

2.3.2.1 DESCRIPCIÓN DE LA FILTRACION

La operación de la filtración supone dos etapas: Filtración y lavado. En un filtro convencional, al final de la etapa de filtración o carrera del filtro se alcanza cuando los sólidos suspendidos (turbiedad) en el efluente comienza a aumentar; cuando la pérdida de carga es tan alta que el filtro ya no produce agua a la tasa deseada o cuando la carrera del filtro es de 36 horas o más. Generalmente cuando una de las condiciones anteriores se presenta se procede al lavado del filtro para remover el material suspendido acumulado dentro del lecho filtrante y para recuperar su capacidad de filtración. Usualmente el lavado se hace invirtiendo el flujo a través del filtro, aplicando una corriente de agua suficiente para fluidizar el medio filtrante y producir el frote entre los granos del mismo, y desechando el material removido a través de las canaletas de lavado.

2.3.2.2 MECANISMO DE REMOCION

El mecanismo por el cual un filtro retiene y remueve el material suspendido ha sido explicado de distinta manera por diferentes autores. Probablemente el fenómeno es el resultado de la acción conjunta de varios procesos físicos, químicos y biológicos, que ocurren en el filtro con mayor o menor intensidad.

Tabla 9. Principales mecanismos de remoción en la filtración

Mecanismo	Descripción
1. Cribado a. Mecánico b. Oportunidad de contacto	Partículas mas grandes que el tamaño de los poros son retenidas mecánicamente Partículas mas pequeñas que los poros del medio son retenidas por oportunidad de contacto
2. Sedimentación	Las partículas se sedimentan sobre el medio filtrante, dentro del filtro
3. Impacto inercial	Las partículas pesadas no siguen las líneas de corriente
4. Intersección	Muchas partículas que se mueven a lo largo de una línea de corriente son removidas cuando entran en contacto con la superficie del medio filtrante
5. Adhesión	Las partículas floculentas se adhieren a la superficie del medio filtrante. A medida que el lecho se tapona, la fuerza cortante superficial aumenta hasta un límite para el cual no hay remoción adicional
6. Adsorción química a. Enlace b. Interacción química	Una vez que una partícula a entrado en contacto con la superficie del medio filtrante o con las otras partículas, la adsorción, física o química, permite su retención sobre dichas superficies
7. Adsorción física a. Fuerzas electrostáticas b. Fuerzas electrocinéticas c. Fuerzas de Van der Waals	
8. Floculación	Partículas mas grandes capturan mas pequeñas formando flocs
9. Crecimiento biológico	Reducen el volumen del poro y puede promover la remoción de partículas

2.4 FERTILIZACIÓN

La aplicación al suelo del estiércol es una alternativa económica comparada con aquellas en donde es necesario implantar un sistema de tratamiento, además presenta una utilidad adicional como es el suministro de nutrientes benéficos que ayudan a acumular y mantener la fertilidad del suelo para el cultivo de diferentes especies vegetales. Es importante resaltar que los residuos de origen animal pueden contener sustancias perjudiciales o potencialmente tóxicas como los compuestos orgánicos fitotóxicos, los metales pesados, los microorganismos patógenos etc. Por lo anterior al ser usados de forma inadecuada pueden convertirse en una fuente de contaminación del suelo y de las aguas subterráneas, causando trastornos a los animales y finalmente al hombre. Algunos de estos problemas son comunes con los fertilizan-

tes minerales, pero estos no tienen la ventaja de contener materia orgánica. La utilización de ambos tipos de abonos se debe realizar en condiciones adecuadas. Para el caso de los abonos de origen animal se deben considerar principalmente los siguientes factores:

- Concentración ganadera.
- Almacenamiento y manejo de los residuos.
- Aplicación de la dosis correcta en el momento oportuno.

La aplicación de las excretas de animales (vacuno, cerdo, gallinaza) al suelo produce los siguientes efectos:

- Aumenta o mantiene en un nivel elevado los elementos asimilables, impidiendo o compensando la disminución que se produce como

consecuencia de la exportación de nutrientes por las cosechas. Asimismo, constituye un medio para evitar daños y enfermedades producidas por carencia de algún microelemento.

- El estiércol sólido y la gallinaza mejoran la estabilidad estructural del suelo, disminuyendo por tanto el peligro de erosión. Producen además un descenso en la densidad aparente y aumentan la retención de agua y la temperatura del suelo, provocando un aumento general de la porosidad y de la conductividad hidráulica que favorece la infiltración, lo que hace que disminuya la escorrentía superficial y el riesgo de erosión.
- La permeabilidad de los suelos al aire disminuye cuando la cantidad de estiércol sólido aumenta, pero el periodo de anoxia se ha estimado que dura tan solo unas horas.
- Aumento del pH del suelo debido a la liberación de amonio, aunque esto puede transformarse a la larga en una acidificación como consecuencia de la oxidación del amonio a ácido nítrico; no obstante este efecto es muy lento en los suelos ácidos porque la nitrificación no está favorecida en este tipo de suelos. El aumento del pH puede llegar a ser peligroso si se alcanzan valores altos (superiores a 8) como consecuencia del secado del estiércol sólido, en este caso se producirá un efecto perjudicial para la actividad biológica del suelo y para el desarrollo de las plantas.
- Presencia de microorganismos benéficos.

Existen dos objetivos principales en la aplicación de estiércol al suelo:

- Asegurar la máxima utilización por parte del cultivo de los nutrientes presentes en el estiércol.
- Minimizar el peligro de contaminación del agua.

2.4.1 APLICACIÓN DE NUTRIENTES

Las plantas necesitan una serie de elementos esenciales para tener un buen desarrollo; estos elementos pueden ser macro, medio o micronutrientes según sean las cantidades que se requieran. Los elementos esenciales y sus funciones principales se indican en la tabla 10.

Los nutrientes deben estar en formas que sean asimilables por las plantas, factor importante a tener en cuenta a la hora de fertilizar. Por ello los fertilizantes no los contienen en forma elemental, sino que están en forma iónica fácil de absorber.

La aplicación al terreno de nutrientes para las plantas, incluyendo el estiércol, debe tener en cuenta tanto las necesidades de los cultivos como el potencial para degradación ambiental. Los nutrientes no deben ser aplicados en volúmenes que excedan la cantidad necesaria para un adecuado plan de fertilización. La aplicación en exceso puede inducir deficiencias de nutrientes en el suelo e incrementar el riesgo de que los excesos lleguen a las fuentes de agua. Altas concentraciones de nutrientes pueden acelerar el proceso de eutroficación, una condición que reduce el oxígeno disuelto en el agua, incrementando el crecimiento de plantas y limitando la fauna acuática.

Es frecuente superar ciertos límites en el uso de los fertilizantes, sobre todo de los nitratos, lo que no implica mayores rendimientos agrícolas. Esto quiere decir que las partes no asimiladas o no incorporadas al suelo pueden ser arrastradas por escorrentía superficial o penetrar en las aguas subterráneas. Por otra parte estos nitratos pueden concentrarse en algunas especies cultivadas (caso de la espinaca) con el consiguiente peligro que esto supone para la salud humana y animal, pues no hay que olvidar que los nitratos se reducen en el intestino y pasan a nitritos e incluso a nitrosaminas, productos ambos tóxicos e incluso estas últimas carcinogénicas.

Tabla 10. Elementos esenciales y su función (Calvo S. M., 1999)

ELEMENTO	FUNCION
Macronutrientes	
N	Constituyente de las proteínas y de la clorofila, encontrándose en las coenzimas y en los ácidos nucleicos.
P	Importante en la transmisión de energía como parte del adenosin, ácidos nucleicos y sustratos metabólicos.
K	Funciona en mecanismos como la fotosíntesis, translocación de carbohidratos, síntesis de proteínas, etc.
Ca	Componente de la pared celular
Mg	Constituyente de la clorofila y activador de enzimas
S	Constituyente de las proteínas vegetales
Micronutrientes	
B	Importante en la translocación de azúcares y en el metabolismo de los carbohidratos
Fe	En la síntesis de la clorofila y en las enzimas para la transferencia de electrones.
Mn	Controla varios sistemas de oxidación - reducción en la formación de O ₂ en la fotosíntesis.
Cu	Catalizador para la respiración; constituyente de enzimas.
Zn	En enzimas que regulan diferentes actividades metabólicas.
Mo	En la nitrogenasa, necesario para la fijación del nitrógeno.
Co	Esencial para la fijación simbiótica del nitrógeno.
Cl	Activa el sistema para producción de O ₂ en la fotosíntesis.

En cuanto a los fosfatos al ser aplicados normalmente reaccionan con el suelo y sus constituyentes son inmovilizados. Pero si por cualquier circunstancia se aplican en exceso, parte de ellos pueden ser arrastrados por las aguas de escorrentía superficial y llevar consigo partículas del suelo fertilizado apareciendo posteriormente en las aguas superficiales. El fósforo, al igual que el nitrógeno, pertenecen al grupo de los macronutrientes primarios. Su carencia en los vegetales provoca anomalías en el crecimiento, maduraciones lentas y alteraciones en el color de las hojas. En el suelo, el fósforo se encuentra hasta en un 70% en forma orgánica como fosfolípidos, ácidos nucleicos e inositolofosfatos. En forma inorgánica puede aparecer de dos maneras, según sea el pH del suelo:

- pH > 7 (condiciones básicas): Fosfato
- pH < 7 (condiciones ácidas) : Fosfatos asociados al hierro y al aluminio

La acción de diversos factores sobre las excretas aplicadas al suelo, hace que se pierdan en distinto grado cantidades variadas de nutrientes, principalmente de nitrógeno. El nitrógeno inorgánico soluble en el agua es bastante móvil en el suelo, pudiéndose encontrar en elevadas cantidades tanto en aguas superficiales de escorrentía como en aguas subterráneas debido a infiltraciones. Parece ser que el fósforo soluble procedente de las excretas animales se presenta en forma más constante en la escorrentía superficial, que el procedente de fuentes inorgánicas.

El fósforo aplicado al campo tanto como estiércol o fertilizante comercial, puede llegar a los cuerpos de agua debido a la escorrentía y la erosión, siendo responsable de la acelerada eutrofización que se presenta en las fuentes de agua.

El análisis de los distintos factores que están más relacionados con la descarga de nutrientes procedentes de las excretas animales aplicadas al suelo, indica que los más importantes son los siguientes:

- Cantidad de excretas aplicadas al suelo. Cuanto mayor sea la cantidad aplicada al suelo mayores podrán ser las descargas de nutrientes.
- Tipo de excretas y formas de aplicación. Según la morfología de las excretas (sólidas, líquidas o mixtas), se esparcen en el suelo con un determinado sistema que afecta en distinta forma la distribución de nutrientes.
- Estado del suelo en el momento de la aplicación. Tiene una gran importancia, pudiéndose citar a este respecto tres posibilidades básicas:
 1. Suelos recién labrados o sin labrar.
 2. Terrenos cultivados o sin cultivo, teniendo gran importancia el estado de crecimiento de las malezas, así como el de las especies cultivadas.
 3. Suelo con residuos vegetales o limpio de ellos.
- Tipo del suelo para aplicación (receptor). Las principales características del suelo al que se aplican las excretas son entre otras, su composición, su textura y la pendiente del terreno. Las dos primeras están en relación con la mayor facilidad o dificultad de drenaje o lixiviación, mientras que la última incide directamente en los posibles arrastres superficiales.
- Los niveles de nutrientes existentes en el suelo y las necesidades de nutrientes de los cultivos.
- Época del año para la aplicación. Es importante tener en cuenta los fenómenos climatológicos incidentes en las diferentes épocas del año.

2.4.2 RETENCIÓN DE NUTRIENTES EN EL SUELO

Se puede definir como la capacidad del suelo para mantener los nutrientes presentes en los residuos animales o como la relación de entrada de un elemento y su salida al medio ambiente. Se debe tener en cuenta que la cantidad de materia retenida por el suelo a lo largo de un periodo de tiempo dado, puede estar sujeta a pérdidas o eliminaciones a causa de diversos factores como los cultivos, la acción del agua, o ciertas transformaciones químicas o biológicas.

La capacidad de retención de las excretas por un determinado tipo de suelo está influenciada por la cantidad aplicada y por las condiciones climáticas en que se realice tal proceso. La Eficiencia de Retención (ER) de nitrógeno y fósforo, principales nutrientes presentes en las excretas aplicadas al suelo, se puede expresar mediante la siguiente relación:

$$ER = \frac{\text{Entrada} - \text{Salida}}{\text{Entrada}} \times 100(\%)$$

donde: ER = Eficiencia de retención.

Las entradas de nitrógeno y de fósforo se determinan por el peso de las excretas, basándose en el contenido de materia seca y de concentración de nutrientes. Las salidas de estos elementos incluyen las pérdidas de nutrientes debidas a las aguas superficiales y a la sedimentación, incluyéndose el nitrógeno y el fósforo en solución, así como el nitrógeno total y el fósforo en base sólida.

Dada la dificultad de medición de la fracción filtrada a capas profundas, al producirse transformaciones químicas y biológicas tales como la desnitrificación, la fijación del fósforo al suelo, etc., normalmente no se toman en consideración. Varios estudios realizados en Estados Unidos indican que la eficiencia de retención de nutrientes en un suelo sometido a sucesivas y periódicas entradas de excretas, fluctúan entre un 89.2 y un 98.7 % de las cantidades aplicadas.

Diversos estudios realizados indican que las entradas de nitrógeno en el suelo, expresados en porcentaje en peso de la cantidad de excretas aplicadas, fluctúan entre el 0.19 y el 0.30 %. A su vez, las salidas debidas a escorrentía superficial y se-

dimentación alcanzan valores para el nitrógeno comprendidos entre 0.01 y el 0.07 %, y en cuanto al fósforo entre 0.001 al 0.02 %.

Tras un periodo de aplicaciones sucesivas de excretas que originan continuas entradas de N y P, se establece cierto equilibrio para darse posteriormente un incremento positivo. La ER tiene valores crecientes en relación con la temporada de aplicación desde el invierno al verano. El estado de labranza afecta principalmente a las salidas.

La mineralización del nitrógeno orgánico de las excretas ganaderas tiene gran interés por su valor como fertilizante del suelo. En varias experiencias realizadas en los Estados Unidos se ha podido determinar que durante tres años de sucesivos aportes de excretas al suelo se produce un incremento del 35 % del N orgánico; Bouldin establece (citado por Calvo S.M., 1999) que el primer año se mineraliza el 55 % del N orgánico; en el segundo

año se mineraliza el 55% de lo aportado en el año más un 30 % del residual del año anterior (primer año); en el tercer año se mineraliza un 55 % de lo aplicado en el año más un 30 % del residuo del año anterior (segundo año) más un 15 % de lo correspondiente al primer año.

La composición de los nutrientes en el residuo es afectada por el sistema de manejo de excretas, el sistema de estabulación, el material de cama utilizado y el volumen de agua utilizado en las operaciones de limpieza.

Las pérdidas de nitrógeno durante las operaciones de manejo y de almacenamiento pueden ser significativas, pero las pérdidas de fósforo y potasio son usualmente despreciables. Para tener una idea sobre los porcentajes de pérdidas de nitrógeno durante las diferentes operaciones de manejo y almacenamiento se presenta la tabla 11.

Tabla 11. Pérdidas de nitrógeno durante el almacenamiento y manejo (Ohio, 1992)

Sistema	Porcentaje de pérdida de Nitrógeno (%)
SOLIDO	
Raspado y arrastre diario	15-35
Estiércol empacado	20-40
Terreno abierto	40-60
LIQUIDO	
Tanque de almacenamiento bajo tierra	15-30
Sobre tierra	10-30
Almacenamiento en tierra	20-40
Laguna Anaerobia	70-80

Los métodos de aplicación también afectan la cantidad de nutrientes disponible para el consumo del cultivo. Muchas pérdidas ocurren dentro de las primeras 24 horas de aplicación. Al hacer la incorporación del estiércol líquido mediante cincelado o acuchillado del suelo se minimizan los olores y las pérdidas de nutrientes. La cantidad de nitrógeno disponible en el suelo depende del método de aplicación y de los días de espera para la incorporación. El fósforo y el potasio aplicados al suelo estarán disponibles por largos periodos a menos que se remuevan por escorrentía superfi-

cial o erosión del suelo. Cerca del 100% del fósforo total y del potasio total del estiércol aplicado se consideran disponibles para la primera etapa de crecimiento de las plantas.

El derrame sobre la superficie y la inyección por debajo de la capa superficial del suelo son dos de los métodos de aplicación más comúnmente empleados. Varios lineamientos deben ser seguidos para utilizar al máximo los nutrientes buscando un mínimo impacto ambiental:

- Evaluación del suelo mediante análisis de la concentración de los nutrientes fundamentales para establecer sus niveles actuales de fertilidad.
- Análisis del estiércol y del agua residual con el fin de determinar el contenido de nutrientes.
- Selección de una velocidad de aplicación que no exceda los requerimientos de nutrientes del cultivo y evite la contaminación del suelo, el daño de las plantas y las escorrentías.
- Observación de la humedad del suelo antes de aplicar residuos líquidos y así ajustar los caudales de aplicación para evitar escorrentías. La humedad se determina basándose en la apariencia y estructura del suelo.
- Para evitar la escorrentía no se debe aplicar estiércol en suelos saturados y con alta pendiente.
- Mantener los equipos utilizados en la distribución de estiércol adecuadamente calibrados para obtener la velocidad de aplicación adecuada.

2.4.3 CARACTERÍSTICAS DEL SUELO PARA APLICACIÓN DE AGUAS RESIDUALES POR LA MODALIDAD DE RIEGO

En la aplicación de vertidos líquidos a un suelo, el drenaje es el factor fundamental. Este drenaje depende de la textura y de la estructura del suelo. Los suelos pesados y de textura fina tienen mal drenaje, los horizontes son casi impermeables y en consecuencia retienen el agua aportada durante mucho tiempo, con lo que aparecerá el riesgo de encharcamiento continuo sea cual fuese el método de aplicación elegido. Por el contrario, los suelos arenosos poseen una elevada capacidad de drenaje, lo que los hace aceptables para la aplicación de las aguas residuales al no presentarse problemas de encharcamiento, en este caso el suelo asimila además gran parte de los posibles contaminantes procedentes del vertido.

El suelo se considera como medio “amortiguado” porque se opone a las variaciones bruscas del pH. Los suelos arcillohúmicos, con fuerte capacidad de cambio, están bien amortiguados, los suelos

arenosos, con una capacidad de cambio débil, lo están mucho menos). Este poder de amortiguación resulta de la absorción de los iones H^+ y OH^- añadidos; de aquí la importancia de los análisis fisicoquímicos previos de los vertidos y del suelo para poder controlar de este modo el efecto producido por la adición de un vertido con una composición determinada, sobre un tipo específico de suelo. Si el pH sube mucho, ciertos suelos pueden sufrir daños como ocurre con los arenosos, además algunos oligoelementos se hacen menos asimilables obstaculizándose su absorción por parte de los vegetales.

Cuando el riego se realiza con aguas residuales provenientes de tratamientos secundarios, las alteraciones del contenido en elementos del suelo son variables. En la efectividad del riego también influyen los factores climatológicos de la zona de aplicación, así si la temperatura es elevada y en consecuencia la intensidad de evaporación también lo es, se produce una concentración de los constituyentes del vertido, con la posibilidad de presentar casos de fitotoxicidad por metales o sólidos disueltos, que pueden eliminarse mediante lavados y riegos con aguas limpias. Los suelos más indicados para la aplicación de riegos son los de alto contenido en arcilla y en materia orgánica, con fuerte retención de agentes potencialmente contaminantes.

Los suelos más adecuados para aplicación por escorrentía superficial sobre cubierta vegetal son los arcillosos, los franco-arcillosos y con cierta salvedad, los franco-limosos. Estos suelos se caracterizan por su baja permeabilidad, lo que permite que el líquido fluya hacia un drenaje, además de hacerlo directamente por escorrentía superficial. Para esta aplicación la preparación del suelo se limita a mantener la superficie con una suave inclinación, a conocer la capacidad de infiltración y las condiciones climatológicas de la zona y a sembrar la cubierta vegetal mas adecuada para el lugar.

A continuación se presentan algunas recomendaciones generales para tener en cuenta cuando se realice fertilización con aguas residuales provenientes de granjas:

- Un aspecto de importancia es el de disponer de áreas de terreno suficientes para la aplica-

ción del estiércol tanto para las granjas existentes como para las ampliaciones que se planeen construir o las granjas nuevas. Una aproximación conservativa para determinar la cantidad de tierra requerida es considerar la remoción de nutrientes de la cosecha recogida. Esto asegurará que bastante área de terreno esté disponible en años futuros sin que se presente la acumulación de nutrientes en el suelo mas allá de los niveles agronómicos y ambientales permitidos.

- Los productores de animales que tienen más estiércol del que pueden efectivamente aplicar al terreno deben considerar estrategias alternativas para el manejo de las excretas.
- En muchas situaciones, la incorporación relativamente profunda y el control intensivo de la escorrentía en el sitio de la aplicación puede minimizar el impacto ambiental.
- Se ha encontrado que el crecimiento de los cultivos raramente responde a la aplicación de fósforo adicional, cuando se exceden los niveles de 67 kilogramos de fósforo por hectárea en el suelo; los cultivos que crecen en suelos con altos niveles de fósforo pueden producir más bajos rendimientos debido a los imbalances de nutrientes. Cuando se superen los anteriores niveles se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:
 - ☞ Fertilizantes con fósforo adicional no deben usarse en tales terrenos.
 - ☞ Los cultivos deben ser monitoreados para detectar deficiencias de nutrientes mediante el análisis de tejidos vegetales.
 - ☞ Incorporar el estiércol generalmente a una profundidad de 20 centímetros, usando velocidades bastante grandes para satisfacer los requerimientos de nutrientes para un próximo cultivo (Basado en la evaluación del suelo cultivos de poca profundidad podrían ser necesarios para reducir los niveles de fósforo de la superficie).
- Es importante resaltar que el estiércol contiene mucho mas potasio que magnesio o calcio, y después de muchos años de continua apli-

cación, la relación de potasio a magnesio y calcio podría ser alta para un óptimo crecimiento del cultivo. Para ajustar la relación anterior el magnesio y/o el calcio deben ser adicionados en forma de dolomita o caliza. El suelo debe ser evaluado regularmente para determinar los niveles de estos nutrientes; si se sospecha un imbalance mineral, debe ser realizado un análisis del tejido de la planta para determinar la extensión del problema.

- Las velocidades de aplicación deben determinarse con base en los resultados de los análisis del suelo, con relación a los nutrientes disponibles en el campo antes de la aplicación y de la composición del estiércol a aplicar.
- Al adicionar altas cantidades de estiércol al suelo puede incrementarse la concentración de sales, lo que reduce el crecimiento de la planta. Para un monitoreo más exacto del nivel de nutrientes en el suelo, son recomendados análisis anuales, para así determinar las velocidades apropiadas de aplicación.
- La aplicación de excretas no debe proporcionar mas nitrógeno disponible del que es necesario para los cultivos. De esta forma la determinación del nitrógeno disponible debe incluir el nitrógeno proporcionado por cualquier fertilizante nitrogenado adicionado, y el disponible de aplicaciones previas.

2.4.4 CONTAMINACIÓN POR ACTIVIDADES GANADERAS DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

La principal causa de contaminación normalmente obedece a una mala gestión de los residuos que se producen. Una forma de eliminación frecuente es el vertido directo en la tierra, que realizado sin control ocasiona graves problemas de contaminación en los suelos y los acuíferos. Los residuos animales que potencialmente pueden contaminar las aguas subterráneas son:

- Residuos de origen líquido.
- Residuos compuestos por materia orgánica sólida.
- Residuos derivados de heces sólidas y orines.

Dentro de las causas que producen contaminación por fosfatos en las aguas subterráneas se encuentran las excretas de origen animal, los detergentes, los residuos agrícolas etc. Para el fósforo al contrario de lo que ocurre con la contaminación por nitratos, los mecanismos de depuración del suelo son mucho más efectivos. Esto se debe a que los compuestos fosfatados son rápidamente transformados a formas químicas insolubles y fijados en el terreno mediante reemplazos isomórficos y fenómenos de adsorción física. Sin embargo cuando los niveles aplicables de fósforo excedan los requerimientos nutricionales del cultivo podrían conducir a que los nutrientes lleguen a las aguas superficiales o se produzca la lixiviación hasta las aguas subterráneas.

Las posibles causas que producen contaminación en las aguas subterráneas son:

1. Fugas en los tanques de almacenamiento.
2. Descargas incontroladas de las aguas residuales directamente sobre el suelo, cauces fluviales o pozos.
3. Ubicación inadecuada de la granja.

Para preservar la calidad de las aguas subterráneas frente a la contaminación por residuos ganaderos se recogen las recomendaciones dadas por el California State Water Resources Control Board (Calvo S.M., 1999):

- Las áreas de almacenamiento de estiércol se seleccionarán y acondicionarán buscando *minimizar la infiltración de las aguas*.
- Los corrales tendrán un adecuado drenaje superficial, para evitar continuas acumulaciones de agua.
- Por regla general no es necesario el uso de aislantes especiales en estanques de retención, cuando éstos se encuentren construidos *sobre margas arenosas o sobre materiales del suelo de textura más fina*. (marga : roca de color gris compuesta de carbonato de cal y arcilla principalmente).
- La aplicación de estiércol y de aguas residuales a tierras cultivadas dependerá del tipo de cul-

tivo, el suelo, el clima, las situaciones locales, los sistemas de gestión y el tipo de estiércol.

2.5 CONTROL DE OLORES

Los olores pueden ser una molestia para los productores, generando quejas y litigios con los vecinos. Los principales factores que pueden producir molestias debido a la generación de olores son:

1. Qué tan cerca están localizadas las granjas y los lugares de manejo de estiércol con relación a los vecinos, a las corrientes de viento predominantes y al drenaje de aire.
2. El diseño inapropiado de los componentes del sistema de manejo de estiércol.
3. Una operación y administración inadecuada de los sistemas de manejo y almacenamiento de estiércol.

Los olores son debidos a los componentes volátiles generados durante la descomposición de la materia orgánica (estiércol). Los dos componentes principales son los que contienen azufre, como por ejemplo el ácido sulfhídrico y aquellos que contienen nitrógeno en la forma amina como el amoniaco. La generación de los anteriores componentes depende del tipo de ganado y está principalmente asociada con el nivel de proteína y la cantidad de forraje en la ración de alimento. Por ejemplo, los residuos de pollos y cerdos producen olores mas ofensivos que los del ganado vacuno.

El sistema de manejo de estiércol también afecta la velocidad de generación de olores y las características del olor. Las excretas que son recolectadas y esparcidas diariamente en el campo tienen un olor menos ofensivo que el del estiércol almacenado. El estiércol manejado en forma líquida tiene un potencial mas grande para generar olores molestos que aquel manejado en forma sólida con cama. Investigaciones indican que el transporte de olores también está asociado con las partículas pulverizadas. Por tanto con un buen manejo de las aspersiones se ayuda a controlar los olores.

El buen manejo es crucial para controlar los olores, esto incluye la apropiada operación de los sistemas de manejo de estiércol, y el aseo y limpieza de toda la infraestructura de la granja. Una granja bien mantenida y limpia produce una reacción

menos negativa para el mismo nivel de olores que una granja mal manejada.

2.5.1 FUENTES DE OLORES

Existen tres fuentes o áreas primarias, donde son generados los olores en la granja:

1. Corrales.
2. Sistemas de almacenamiento de estiércol y unidades de tratamiento.
3. Campos agrícolas donde se esparcen el estiércol y las aguas residuales.

Corrales. Los olores generados en los sitios de confinamiento pueden ser una molestia significativa. El manejo de los animales y del estiércol en los corrales es importante; si se acumulan las excretas de 3 a 5 días, los olores son más fuertes y serán liberados en grandes cantidades. Pocos olores se generan en los primeros 3 días. La producción de amoníaco alcanza los picos máximos el día 3 y el día 21.

Sistemas de almacenamiento. El estiércol almacenado en canales abiertos puede causar mayores molestias en climas calientes y húmedos. Si el animal llega a estar sucio por el estiércol, el calor de su cuerpo promovería la rápida liberación de olores.

Un sistema de ventilación de aire en los corrales es esencial para liberar grandes cantidades de olores y gases generados y así lograr una producción eficiente. Si en el ambiente de los corrales se encuentra presencia de polvo, debido a la entrada de partículas finas de alimentos, en el aire de salida podría presentarse un mayor nivel de olor. Los niveles de polvo pueden ser reducidos con una limpieza apropiada y regular, o utilizando aditivos en los alimentos. Las grasas y aceites adicionados al alimento pueden reducir la generación de polvo.

Dentro de los principales sistemas de almacenamiento de estiércol sólido se tienen las estructuras de pared ranurada y no ranurada; en tanto que el estiércol líquido se almacena en tanques de concreto con tablilla en el fondo, tanques abiertos en concreto ubicados fuera de los corrales, tanques cubiertos en concreto, tanques metálicos y estanques de almacenamiento en tierra.

El sistema de tratamiento biológico más común que se convierte en una alternativa de almacenamiento es la laguna anaerobia. Pueden generarse olores en los sistemas de almacenamiento, pero una laguna anaerobia con un volumen de diseño y un manejo adecuado, produce mínimos olores debido en parte a la dilución con el agua.

Se liberan muy pocos olores en estructuras de almacenamiento cubiertas herméticamente o en tanques donde los residuos almacenados crean una costra seca que flota sobre el líquido.

Campos agrícolas donde se esparce el estiércol. La distribución de estiércol en campos de cultivo o pastizales puede convertirse en una fuente de olores. La rápida volatilización de los componentes generadores de olores se debe a que las excretas son esparcidas formando una capa delgada. La liberación de olores usualmente es baja en los primeros 3 días, a menos que el clima sea particularmente húmedo. La inyección del estiércol debajo de la superficie o su incorporación inmediata en la superficie pueden reducir la liberación de olores. Buenas decisiones de manejo en cuanto a cual sistema de distribución utilizar y cuando esparcir el estiércol, pueden minimizar las molestias por olores.

El número de animales muertos en una infraestructura confinada se convierte en un problema diferente de manejo de olores. Un método común de disposición para infraestructuras pequeñas, es enterrar inmediatamente donde no ocurra contaminación de las aguas superficiales; entre tanto, para granjas más grandes esta alternativa no es práctica y otras opciones deben ser consideradas, como por ejemplo la incineración. El incinerador debe tener un segundo paso en el quemador para prevenir la liberación de olores. Otro método es contratar a una empresa que se encargue de eliminar la mortalidad, en este caso, pequeños animales podrían ser congelados hasta que una cantidad suficiente sea almacenada para hacer una recogida económica.

Cuando se seleccione un sitio para establecer una granja, se deben considerar cuatro factores para minimizar las molestias por olores:

- Aislamiento del lugar de la granja

- Dirección y distancia a los vecinos
- Dirección predominante del viento
- Drenaje de aire (*Circulación del aire*)

La localización con respecto a los vecinos debe ser considerada según la dirección predominante del viento. Así, si las residencias están en la misma trayectoria que sigue el viento corriente abajo, debe existir una mayor separación de la granja con respecto de los vecinos.

La distribución de los corrales y el sistema de manejo del estiércol pueden afectar la generación de olores. Así, cuando se seleccione un sistema de recolección considere los siguientes principios:

- Si se acumula el estiércol en la superficie del terreno, se generarán más olores cuando el clima es húmedo-caliente.
- El raspado diario de estiércol de las superficies de los corrales reducirá la generación de olores.
- El estiércol acumulado en los corrales entre 3 y 5 días genera más olor que si es removido en forma frecuente a campos de cultivos o a almacenajes cubiertos.
- Los sistemas de inundación reducen los olores dentro de los corrales, pero incrementan el volumen de agua residual a ser manejada y aplicada al terreno.
- Reduciendo los niveles de polvo dentro del edificio, se disminuyen los problemas de olores.
- La limpieza del aire de ventilación con filtros, reduciría los olores de los corrales.

2.5.2 SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO PARA REDUCCIÓN DE OLORES

Cuando se emplean tanques para el almacenamiento de estiércol, estos deben estar cubiertos a menos que el sitio esté aislado razonablemente; para tal efecto se pueden utilizar tapas en concreto, cubiertas plásticas o cualquier tipo de tapa dispuesta sobre el tanque o flotando sobre el líquido.

Otra forma de almacenar el estiércol es en tanques (lagunas), las cuales sirven a su vez como

sistemas de tratamiento; estas lagunas pueden ser del tipo aerobio o anaerobio. Una laguna aireada diseñada y operada apropiadamente no producirá olores; sin embargo son más costosas de operar y los olores pueden ser un problema si los aireadores no funcionan bien o se excede la carga de diseño. Las lagunas aireadas son una alternativa donde el espacio para el almacenamiento de estiércol es limitado o en áreas muy pobladas donde hay problemas por la generación de olores.

Una laguna anaerobia funcionando bien tendría un nivel constante de sólidos suspendidos y minerales disueltos. Cuando el agua de la laguna es irrigada, la succión de entrada debe estar cerca al fondo. Los problemas de olores en las lagunas anaerobias son usualmente debidas al diseño inapropiado, al mantenimiento deficiente y a cambios en las condiciones de carga, temperatura y manejo; en las proximidades de las lagunas se pueden presentar problemas de olores a causa del ácido sulfhídrico (olor a huevo podrido).

Esparcimiento. Otra actividad generadora de olores es el esparcimiento del estiércol; de esta forma, las decisiones correctas de cuando y donde esparcir el estiércol pueden eliminar en muchos casos las molestias por olores. El almacenamiento de estiércol es necesario para dar flexibilidad en decidir cuando esparcir. Para determinar cual campo usar, el encargado de la granja debe considerar la dirección y velocidad del viento y la distancia a los vecinos. El método de aplicación en campo puede afectar la generación de olores. A continuación se presentan los principales factores que determinan cuando esparcir:

- En climas fríos se crean menos molestias que si se esparce en climas calientes. No esparcir estiércol en terrenos debido al riesgo que se presenten escorrentías.
- Si el estiércol va a ser esparcido en días cálidos, realizarlo en la mañana; el aire cercano al suelo puede calentarse y elevarse y así los olores también pueden liberarse sin viajar a través de la superficie del suelo.
- En días con viento, los olores recorren distancias mas cortas antes de ser mezclados en la atmósfera en un punto donde el olor no es detectable.

- No esparza en días sin brisa (en calma) y húmedos, a menos que el campo este aislado.

Los lineamientos sobre aplicación de nutrientes pueden dictaminar en cual campo el estiércol será esparcido. Si es posible planea tener varios terrenos disponibles y seleccione el campo que podría causar menores problemas de olores. Si el estiércol debe ser esparcido cuando los olores pueden ser un problema, la incorporación inmediata al suelo por inyección minimizaría la liberación de olores; algunas investigaciones han mostrado que aireando el estiércol líquido almacenado durante cuatro horas antes de ser esparcido, remueve muchos de los olores relacionados con los componentes del azufre; el esparcimiento en campo puede entonces proceder bajo condiciones que normalmente causarían una molestia debido a los olores.

Cuando se utiliza el equipo de irrigación para esparcir el estiércol líquido en campos de cultivos, aumentan los problemas de olores a menos que se tomen precauciones especiales:

- Considerar cuando y donde irrigar es extremadamente importante, como se discute previamente.
- La distribución en forma de atomización es crítica debido a que los olores son transportados por el Spray de alta presión (80 a 100 psi en la boquilla) y atomizarían el agua residual en mas finas gotas que pueden recorrer mayores distancias que las gotas de boquillas de baja presión.
- Boquillas con una trayectoria más corta reducen la impulsión del aerosol.
- Se recomienda una zona de amortiguación en la cual no se realice irrigación. Esta debe guardar una distancia mínima de 20 metros de las carreteras y 80 metros de las residencias, cuando el viento sopla en dirección contraria hacia ellas. Si el viento sopla hacia estas áreas, es necesaria una zona mayor de amortiguamiento.
- Las barreras rompevientos pueden reducir efectivamente la impulsión del aerosol. Al menos dos hileras de arboles son necesarias y tres son las recomendadas (alta, media, baja).

2.5.3 PRODUCTOS COMERCIALES PARA EL CONTROL DE OLORES

Hay muchos componentes disponibles y efectivos para controlar y eliminar olores, entre los cuales se destacan los siguientes:

- Los agentes “enmascaradores” son los que proporcionan un olor a “perfume” para contrarrestar el olor ofensivo.
- Los neutralizadores son químicamente diseñados para bloquear olores particulares.
- Los químicos absorbedores de olores son componentes reactivos que transforman la sustancia causante del olor.
- Los compuestos biológicos tales como los productos enzimáticos y bacterianos alteran las rutas de descomposición y así los componentes de los olores no son generados; estos compuestos pueden ser adicionados directamente al estiércol almacenado y/o al alimento.
- Los controladores químicos de olores son una alternativa costosa frente a un a un diseño apropiado y un buen manejo de la granja. Ellos han sido usados en situaciones de “emergencia”.

A continuación se presentan un conjunto de estrategias para la reducción de olores en sistemas de alta carga orgánica (Fosos, depósitos y tanques):

- **CUBIERTAS IMPERMEABLES.** Mediante este sistema se separa la interfase líquida de la interfase gaseosa y de esta forma no hay transferencia de gases a la atmósfera, se debe prever un sistema para recuperar o quemar el biogás.
- **CUBIERTAS FLOTANTES PERMEABLES (biocubiertas).** Con esta alternativa se limita la entrada de energía debido a la radiación solar y el despojamiento provocado por el viento; se crea una zona de alta área superficial para la degradación aeróbica de olores y otras emisiones. Se utilizan diferentes materiales entre los que se destacan: La paja, espumas de poliuretano, plásticos (polietileno de alta densidad), tallos de maíz, etc.

- **BIOFILTROS.** Utilizados para tratar el aire de salida de los sistemas de ventilación de las estructuras confinadas de la granja. Estos sistemas crean una zona aeróbica de alta área superficial para la degradación de olores y otras emisiones. Las altas concentraciones de sustancias orgánicas e inorgánicas en el gas suministran los nutrientes necesarios (C, N, S y energía) para que las bacterias aerobias crezcan en la superficie del material poroso.
- **SISTEMAS DE LIBERACIÓN QUÍMICA.** Se fundamentan en la reducción de la cantidad

de compuestos químicamente reactivos (amoníaco y ácido sulfídrico) a través del incremento de las velocidades de oxidación. Así, los compuestos oxidados son retornados al sistema de almacenamiento de líquidos.

Existen otras alternativas de menor valor dentro de las cuales se incluyen: La utilización de aditivos biológicos que aumentan la digestión de residuos orgánicos parcialmente descompuestos; La adición de surfactantes (detergentes) que reducen la presión de vapor actuando como una barrera física a la volatilización.

3. METODOLOGÍA

3.1 DISEÑO DE LA MUESTRA

Para determinar el porcentaje de granjas a encuestar en cada zona, se tomó como base el sacrificio porcino reportado por la Asociación Co-

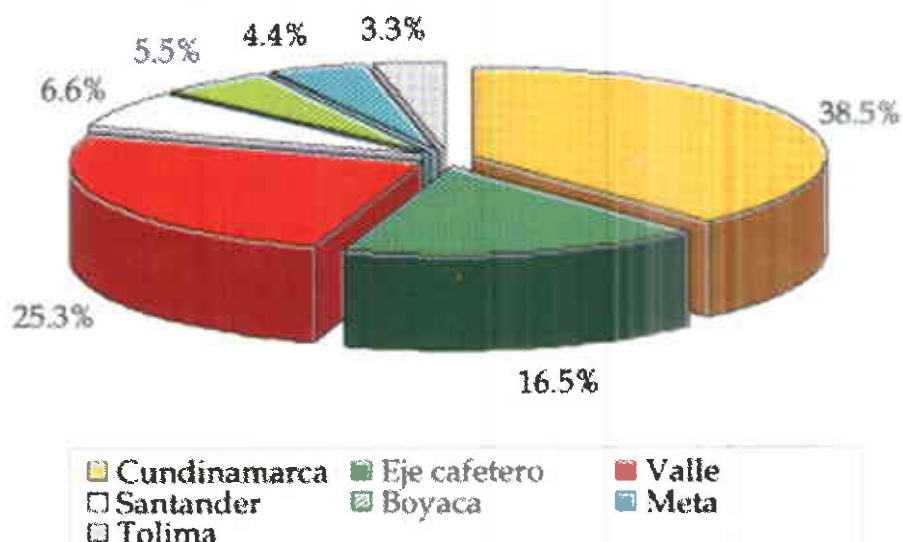
lombiana de Porcicultores – Fondo Nacional de la Porcicultura en cada uno de los departamentos (año 1.997).

Departamento	No. de cabezas sacrificadas	% participación sacrificio	% participación sin Antioquia y otros deptos.	% participación muestra a encuestar
Distrito Capital y				
Cundinamarca	429.625	29.1	49.0	38.5
Valle	172.853	11.5	19.7	25.3
Eje Cafetero	132.165	9.0	15.1	16.5
Tolima	38.734	2.6	4.4	3.3
Santander	31.879	2.2	3.6	6.6
Huila	27.059	1.8	3.1	—
Meta	20.814	1.4	2.4	4.4
Atlántico	13.726	0.9	1.6	—
Boyacá	8.969	0.6	1.0	5.5
Subtotal	875.824	59.1		
Antioquia	543.822	36.7		
Subtotal	1'419.646	95.8		
Otros deptos.	61.633	4.2		
Total nacional	1'481.279	100	100	100

Como uno de los objetos del trabajo era identificar los diferentes sistemas de tratamiento de los residuos generados en la industria porcícola, y clasificar y caracterizar los afluentes y efluentes para determinar su efectividad, no se consideró conveniente incluir las granjas del departamento de Antioquia debido a la homogeneidad que hay en el manejo de la porquinaza, en donde ésta principalmente se dispone como fertilizante en forma directa a pastos a partir de un tanque estercolero para su almacenamiento. Esto es debido a que un alto porcentaje de la porcicultura en esta región está ligada a la ganadería de leche.

Este manejo no aportaría ningún elemento nuevo al trabajo y si reduciría el número de granjas a muestrear que tuvieran algún sistema de tratamiento de las aguas residuales.

En cuanto a los departamentos de Atlántico y Huila por problemas logísticos no fue posible llevar a cabo el estudio; por esta razón fue necesario redistribuir las granjas en las otras zonas de estudio. De esta reorganización se obtiene la distribución que se presenta en la gráfica 1 y esta discriminada en la tabla 12.



Gráfica 1. Distribución nacional de las granjas

Tabla 12. Número de Granjas y Población Porcina (Consolidado por Departamentos)

Departamento	No. de Granjas	%	No. de Animales	%
Cundinamarca	35	38.46	24837	36.08
Eje Cafetero	15	16.48	10205	14.82
Valle	23	25.27	23610	34.29
Tolima	3	3.30	982	1.43
Meta	4	4.40	2861	4.16
Boyacá	5	5.49	1528	2.22
Santander	6	6.59	4821	7.00
TOTAL	91	100.0	68844	100.00

3.2 INSTRUMENTO PARA OBTENCION DE INFORMACION PRIMARIA

En el diseño de la encuesta, se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

1. IDENTIFICACIÓN. En este punto se registra lo relacionado con la fecha de elaboración: de la encuesta, registro de la misma, identificación de la persona y/o empresa dueña (o administradora) de la granja, identificación de la persona que contesta la encuesta y su cargo, dirección para envío de correspondencia y número telefónico.
2. INFORMACIÓN SOBRE UBICACIÓN DE LA GRANJA. Básicamente se refiere al nombre con el que se identifica la granja o empresa y su ubicación geográfica (Departamento, Municipio y/o Vereda); También se registra la altura sobre el nivel del mar (asnm) y temperatura promedio de la zona.
3. INFORMACIÓN GENERAL. La información registrada aquí se puede dividir en varios tópicos como lo son:
 - A. La relacionada con la granja (dedicación, áreas, años de permanencia)

- B. La relacionada con la capacidad de la granja y la distribución etérea
- C. Uso del agua (sitio de abastecimiento y consumo)
- D. Infraestructura de los corrales y aseo de estos
- E. Manejo de la fracción sólida y disposición final
- F. Manejo de la fracción líquida y disposición final
- G. Manejo de otros residuos generados en la granja, y
- H. Tipo de alimentación suministrada a los animales.

Para una mejor comprensión de lo anteriormente relacionado, se anexa al informe una copia de la encuesta aplicada en el proyecto.

3.2.1 PRUEBAS FÍSICO-QUÍMICAS

☞ CONCENTRACIÓN DE IONES DE HIDRÓGENO - pH

El término de pH es una forma de expresar la concentración del ion hidrógeno o más exactamente la actividad del ion hidrógeno.

En general se usa para expresar la intensidad de la condición ácida o alcalina de una solución, sin que esto quiera decir que mida la acidez total o la alcalinidad total. En plantas de tratamiento de aguas residuales que emplean procesos biológicos, el pH debe controlarse dentro de un intervalo favorable a los microorganismos. Es un parámetro de calidad fundamental en las aguas residuales; por un lado, la existencia de ciertas formas biológicas en el agua residual se presenta en un rango relativamente estrecho de pH y por el otro, la forma en que están presentes muchos compuestos en las aguas residuales es función estricta del pH.

☞ DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

La Demanda Química de Oxígeno es un parámetro analítico de polución que mide el material orgánico contenido en una muestra líquida mediante oxidación química. La determinación de la DQO es una medida de la cantidad de oxígeno consumida por la porción de materia orgánica existente en la muestra y oxidable por un agente químico

oxidante fuerte. El ensayo tiene la ventaja de ser más rápido que el de la DBO y no está sujeta a tantas variables como las que puede presentarse en el ensayo biológico. Si la muestra se caracteriza por un predominio de material químicamente oxidable pero no oxidable biológicamente, el valor de la DQO será mayor que el de la DBO. En general, esto se observa en aguas residuales crudas, residuos textiles y residuos de procesadoras de papel. En aguas residuales domésticas típicas es común suponer una relación DQO / DBO igual a 2. El valor de DQO es usado extensivamente en el análisis de aguas residuales y con el valor de la DBO, permite determinar las condiciones de biodegradabilidad y el contenido de sustancias tóxicas de la muestra, así como la eficiencia de las unidades de tratamiento.

☞ DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO)

Uno de los ensayos más importantes para determinar la concentración de la materia orgánica de aguas y aguas residuales es la DBO a 5 días. Esencialmente, es una medida de la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos en la estabilización de la materia orgánica biodegradable, bajo condiciones aeróbicas en un periodo de 5 días a 20°C; por lo tanto, la DBO es una medida de la cantidad de oxígeno consumido en la oxidación de la mezcla de compuestos existentes en la muestra, por la población microbial presente en la misma al hacer el ensayo. Para la realización de la prueba deben garantizarse que se suministren las condiciones adecuadas, no solo de oxígeno disuelto suficiente, sino también ambientales para el desarrollo y trabajo de los microorganismos (nutrientes como nitrógeno y fósforo, eliminación de cualquier sustancia tóxica, entre otros). Es también necesario que exista una población de microorganismos suficiente en cantidad y variedad de especies durante la realización del ensayo.

☞ SÓLIDOS

Se clasifica toda la materia, excepto el agua contenida en los materiales líquidos, como materia sólida.

Sólidos Totales (S.T.). Se define como sólido la materia que permanece como residuo después de evaporación y seca a 105°C. El valor de los sólidos

dos totales incluye material disuelto y no disuelto (Sólidos Suspendidos). En aguas potables, la determinación de sólidos totales es la de mayor interés, por ser muy pequeña la cantidad existente de sólidos suspendidos.

Sólidos Disueltos (S.D.) o Residuo Filtrante.

Son determinados directamente por diferencia entre los sólidos totales y los sólidos suspendidos. Si la determinación es directa, se filtra la muestra a través de un filtro de asbesto o de fibra de vidrio, en un crisol Gooch; el filtrado se seca a 105°C.

Sólidos Suspendidos (S.S.), Residuo no filtrante o Material no disuelto. Son determinados por filtración a través de un filtro de asbesto o de fibra de vidrio, en un crisol Gooch. El crisol se seca a 105°C hasta peso constante.

Sólidos Volátiles y sólidos fijos. En aguas residuales y lodos, se acostumbra a hacer esta determinación con el fin de obtener una medida de la cantidad de materia orgánica presente. La prueba consiste en llevar los sólidos totales en el crisol a una temperatura de 550°C por veinte minutos, registrándose la pérdida de peso como sólidos volátiles y el residuo como sólidos fijos.

El contenido de sólidos volátiles se interpreta en términos de materia orgánica, teniendo en cuenta que a 550°C la materia orgánica se oxida a una velocidad razonable formando CO₂ y H₂O que se volatilizan. Sin embargo la interpretación no es exacta puesto que la pérdida de peso incluye también pérdidas debido a la descomposición o volatilización de ciertas sales minerales.

La determinación de sólidos suspendidos totales y volátiles es importante para evaluar la concentración o «fuerza» de aguas residuales y para determinar la eficiencia de las unidades de tratamiento. En plantas de lodos activados, estas determinaciones se usan para controlar el proceso y como factores de diseño de unidades de tratamiento biológico secundario.

En la práctica se prefiere cuantificar el contenido de materia orgánica en agua mediante ensayos como el de la DQO o el de la DRO.

Sólidos Sedimentables (S. sed). La denominación se aplica a los sólidos en suspensión que se

sedimentarán, bajo condiciones tranquilas, por acción de la gravedad. La determinación se hace con un cono Imhoff. La determinación de sólidos sedimentables es básica para establecer la necesidad del diseño de tanques de sedimentación como unidades de tratamiento y para controlar su eficiencia.

☞ **COMPUESTOS NITROGENADOS**

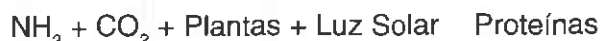
Los compuestos de nitrógeno son de gran interés, debido a su importancia en los procesos vitales tanto de plantas como de animales. Las formas más comunes en las cuales se encuentra son: nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos y nitrógeno orgánico.

Algunas relaciones existentes entre las diferentes formas de los compuestos del nitrógeno y sus cambios ocurridos en la naturaleza se pueden explicar brevemente de la siguiente manera:

- Los nitratos (NO₃⁻) sirven para fertilizar las plantas y son convertidos en proteínas así:



- Los compuestos de amonio suministran amoníaco a las plantas para mas producción de proteínas:



- Los animales y los humanos utilizan las proteínas de las plantas para su subsistencia. Los compuestos del nitrógeno no utilizados son arrojados en los excrementos. Estos, y la materia remanente de animales muertos y plantas, son convertidos en amoníaco por las bacterias:



- El amoníaco producido por la acción bacterial sobre la urea y las proteínas puede ser usado directamente por las plantas. Si se produce un exceso de los requerimientos de las plantas, tal exceso es oxidado por las bacterias nitrificantes (nitroso-bacterias) llevando el amoníaco a nitritos bajo condiciones aeróbicas; posteriormente las nitro-bacterias oxidan los nitritos para formar nitratos.

De acuerdo con el ciclo del nitrógeno, una concentración alta de nitrógeno orgánico es característica de una polución fresca o reciente. El amoníaco es el producto inicial en la descomposición del nitrógeno orgánico. A medida que transcurre el tiempo, en condiciones aeróbicas, el nitrógeno amoniacal es oxidado en nitritos y estos en nitratos, los cuales son el producto final de la descomposición del nitrógeno orgánico.

En el tratamiento biológico de aguas residuales, los datos de nitrógeno amoniacal y orgánico son importantes para determinar si el residuo contiene suficiente nitrógeno para nutrir los organismos. Además, la determinación de nitratos, da un indicativo del tiempo del grado de oxidación de dicho material. El nitrógeno total Kjendahl (NTK), determina nitrógeno en el estado trinegativo, cuantificando el nitrógeno orgánico más el nitrógeno amoniacal.

El nitrógeno es un elemento complejo que puede existir en siete estados de oxidación. El nitrógeno presente en las aguas residuales frescas está constituido por proteínas y urea y éstos, por acción bacterial, son descompuestos en amonio. En ambientes aeróbicos, las bacterias nitrosomas oxidan el amoníaco a nitritos (NO_2^-) y éstos a su vez son transformados por las nitro-bacterias a nitratos (NO_3^-). Por lo tanto los nitratos son un indicador de que el agua residual ha sido estabilizada con respecto a la demanda de oxígeno, y a su vez estos compuestos contribuyen a las transformaciones indicadas. Las formas influyentes del nitrógeno en las aguas residuales son el amoníaco (NH_3), los nitritos (NO_2^-), los nitratos (NO_3^-), la urea ($\text{NH}_2\text{-CO-NH}_2$) y el mismo gas nitrógeno (N_2).

⇒ NITRATOS (NO_3^-)

Como es suficientemente conocido, los fertilizantes nitrogenados conducen al aporte de amonio (NH_4^+) y nitrito (NO_2^-). Lo usual es que el amonio oxide a nitrato y éste sea utilizado por los cultivos. El nitrato es muy móvil y se lixivia muy fácilmente, acumulándose en el agua freática o moviéndose en el agua superficial y contaminándola. El ion nitrato es altamente tóxico y puede producir efectos adversos en el organismo humano, especialmente cuando se reduce a nitrito (NO_2^-), en la boca, estómago e intestino.

Los resultados adversos en este proceso están asociados con:

- a. La enfermedad infantil conocida como meta-hemoglobinemia, la cual se produce cuando se consume agua con mas de 50 mg de $\text{N-NO}_3^-/\text{L}$.
- b. El cáncer gástrico producido por la reacción del nitrito con componentes alimenticios en el estómago, lo cual genera productos cancerígenos, tales como las nitrosaminas.
- c. Otras enfermedades, malformaciones y daños cardiovasculares.

Sin embargo la participación de los fertilizantes en la contaminación del agua con los nitratos no está muy definida. Los resultados experimentales publicados en la literatura internacional, indican que la contribución de los fertilizantes es pequeña, debida al aporte del mismo suelo, excepto cuando se utilizan en altas dosis, particularmente en fertilización nitrogenada líquida.

Los factores que influyen sobre la cantidad de nitrógeno que se mueve o pierde desde el sistema de cultivo al agua superficial o en el agua de drenaje, son muchos y los más importantes pueden ser:

- La dosis de N aplicado.
- La eficiencia de la fertilización nitrogenada.
- El sistema, forma y tiempo de aplicación de N.
- El volumen de drenaje.

Denitrificación. El uso de fertilizantes nitrogenados a demostrado tendencias a incrementar, desde algunos suelos o a partir de las aguas en que se acumulan los nitratos, la emisión de Oxido Nitroso (N_2O). Se considera que estas emisiones pueden contribuir a la destrucción de la capa de ozono, por lo cual es motivo de preocupación.

⇒ FÓSFORO (P)

El fósforo es un elemento esencial en el crecimiento de plantas y animales. Teniendo en cuenta la importancia del fósforo como nutriente, su deter-

minación es necesaria en estudios de polución de ríos, lagos y embalses, así como en los procesos químicos y biológicos de purificación y tratamiento de aguas residuales.

La descarga de un gramo de fósforo en un lago, puede permitir la formación de mas de 100 gramos de biomasa (materia orgánica), la cual puede representar una DBO de 150 gramos para su oxidación aeróbica completa, además de los problemas de eutroficación y crecimiento de fitoplancton.

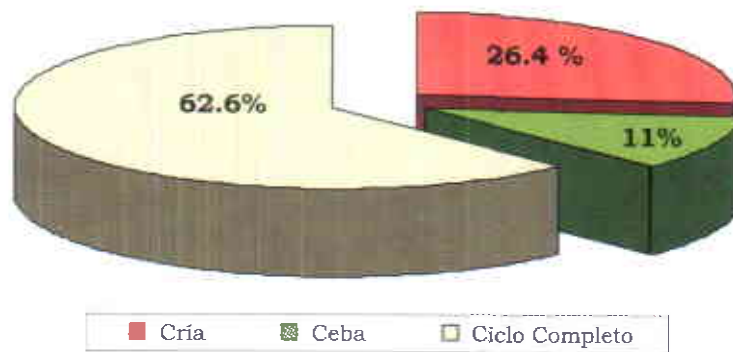
4. RESULTADOS

4.1 ENCUESTA

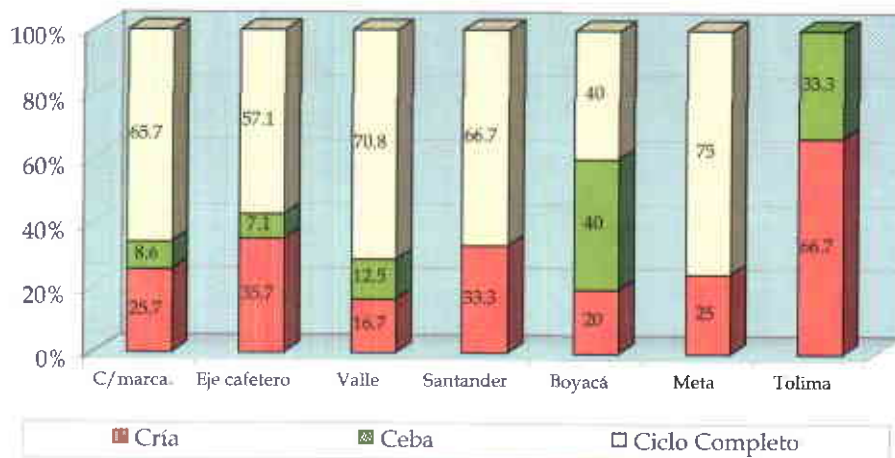
4.1.1 TIPO DE EXPLOTACIONES

El estudio muestra un mayor porcentaje de granjas de ciclo completo (62.6 %) (gráfica 2), com-

portamiento similar al que se presenta a nivel regional (ver gráfica 3).



Gráfica 2. Tipo de Explotaciones a nivel nacional



Gráfica 3. Tipo de Explotaciones a nivel regional

4.1.2. TAMAÑO DE LAS EXPLOTACIONES

Para determinar el tamaño de las piaras, se estableció el siguiente criterio:

Tabla 13. Clasificación de las granjas de acuerdo a la población existente

Tamaño De Granja	No. de madres	No. de Animales en Ceba
Pequeña	Menos de 50	Menos de 100
Mediana	Entre 50 y 150	Entre 100 y 400
Grande	Mas de 150	Mas de 400

Bajo este criterio, de las granjas visitadas el 31% (28 granjas) se definen como pequeñas el 31% como medianas y un 38% (35 granjas) son clasificadas como grandes.

Según la dedicación de las granjas (Cría, Ceba y Ciclo Completo), la distribución encontrada teniendo en cuenta el tamaño de la granja, fue la siguiente:

Tabla 14. Distribución porcentual de las granjas teniendo en cuenta su dedicación

Tamaño de la Granja	Dedicación de la Granja		
	Cría (%)	Ceba (%)	Ciclo Completo (%)
Pequeña	43.48	50.00	21.43
Mediana	26.09	25.00	33.93
Grande	30.43	25.00	44.64
TOTAL	100.00	100.00	100.00

De acuerdo con lo encontrado, los pequeños y medianos productores en su gran mayoría tienen granjas o bien dedicadas a la ceba, o dedicadas a la cría. En el segmento de los grandes productores priman las granjas de ciclo completo.

Para relacionar el número de animales con el área de la granja que potencialmente pueden ser utilizadas en programas de fertilización con el estiércol, se excluyeron áreas tales como infraestructura física y de protección de cuencas y demás fuentes hídricas (Tabla 15).

Tabla 15. Area disponible (en metros cuadrados) por animal y dedicación de la granja

Dedicación de la Granja	Valores Estadísticos	GRANJAS PEQUEÑAS	GRANJAS MEDIANAS	GRANJAS GRANDES
Cría	Valor Medio:	1133.7	461.8	640.9
	Desviación Estándar	1115.5	769.2	1314.6
Ceba y Ciclo completo	Valor Medio:	1227.1	601.6	564.0
	Desviación Estándar	1473.5	862.7	961.9

Se observaron diferencias notorias en el momento de comparar el área disponible de acuerdo al tamaño de la granja; las granjas pequeñas cuentan con mayor área disponible (por animal) que las granjas medianas y grandes. De otra parte, tanto para granjas pequeñas como medianas, disponen de mas área aquellas que se dedican a ceba y/o ciclo completo, contrario a lo que se presenta en las granjas grandes, donde disponen de mayor área las que se dedican a la cría. Sin embar-

go, cabe anotar que de acuerdo a las desviaciones obtenidas, hay mucha variación como para considerar este criterio aplicable a toda la población porcícola nacional.

Para determinar el número promedio de animales que maneja una persona en las piaras estudiadas a nivel nacional, se evaluó por separado los tres tipos de dedicación y los tres tamaños de población establecidos.

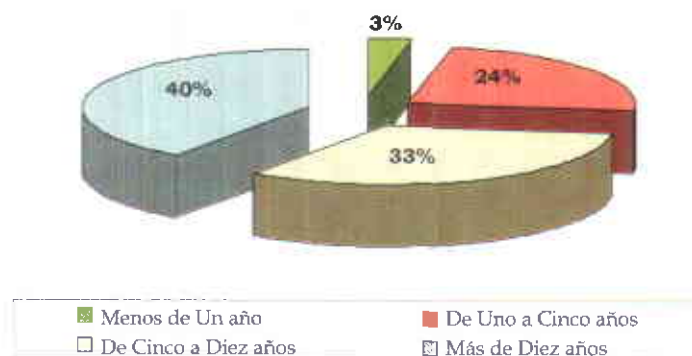
Tabla 16. Promedio de animales manejados por persona de acuerdo al tamaño de la granja y tipo de dedicación

Tamaño de la explotación porcícola	TIPO DE EXPLOTACIÓN		
	CRÍA	CEBA	CICLO COMPLETO
<i>Pequeña</i>	Media: 14.8 Desv.: 14.9	Media: 32.3 Desv.: 26.1	Media: 35.2 Desv.: 28.5
<i>Mediana</i>	Media: 58.0 Desv.: 28.9	Media: 260 Desv.: 45.8	Media: 161.2 Desv.: 89.5
<i>Grande</i>	Media: 59.1 Desv.: 17.1	Media: 259 Desv.: 179.9	Media: 233.4 Desv.: 103.3

De este análisis se puede decir que independientemente si la dedicación es ceba o ciclo completo, las granjas medianas y grandes poseen unos indicadores muy similares, diferentes a los que manejan los pequeños productores en cualquier tipo de dedicación.

Observando la gráfica 3 se puede concluir que la actividad porcícola no es nueva en nuestro país; el 40% de las granjas visitadas tienen mas de 10 años de funcionamiento con una infraestructura que posiblemente es modificada dependiendo de las necesidades del mercado.

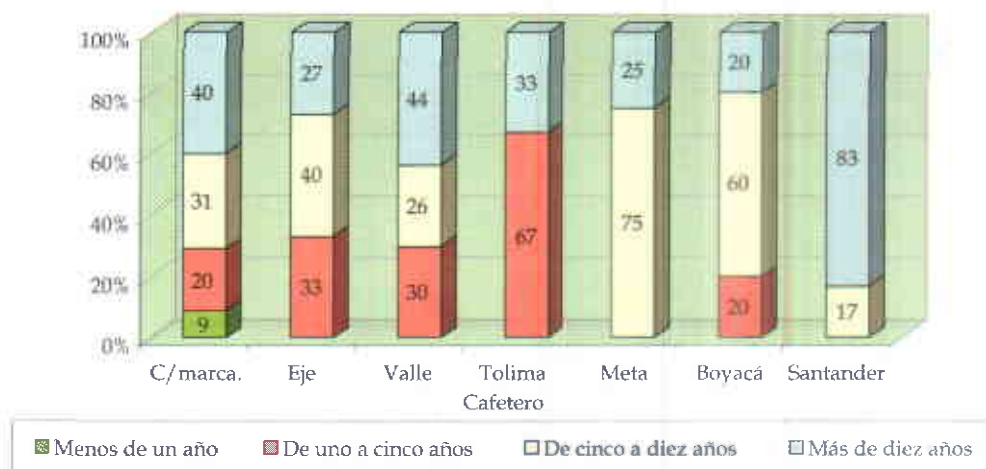
4.1.3 ANTIGÜEDAD DE LA ACTIVIDAD PORCÍCOLA



En la gráfica 5 se observa que en Cundinamarca un 9 % de granjas poseen menos de un año de funcionamiento. De igual manera se observa que

en el Meta y Santander la mayoría de las granjas tienen una antigüedad mayor a 5 años.

Gráfica 5. Antigüedad de la actividad porcícola a nivel regional

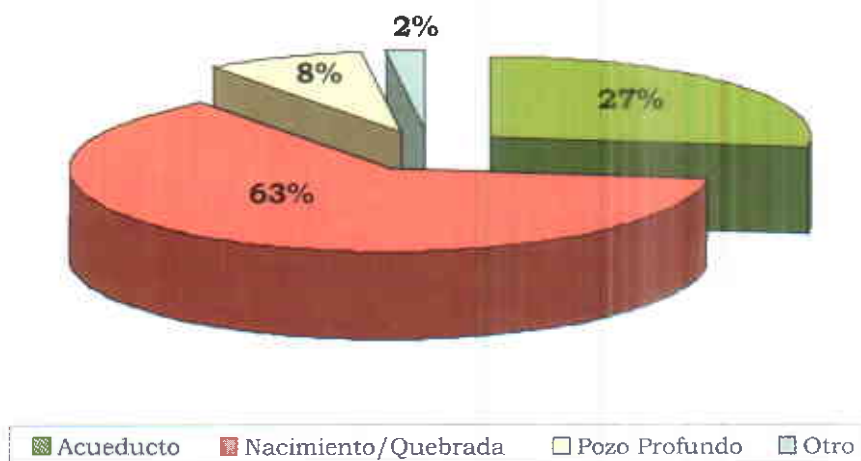


4.1.4 ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO ANIMAL

Aunque aparentemente no es importante el lugar de donde se toma el agua para la granja, en la actualidad las autoridades ambientales están exigiendo un permiso de concesión de aguas, de tal manera que se puede llevar un registro y control de estas. De igual forma en el Ministerio del Medio Ambiente se está legislando acerca de los con-

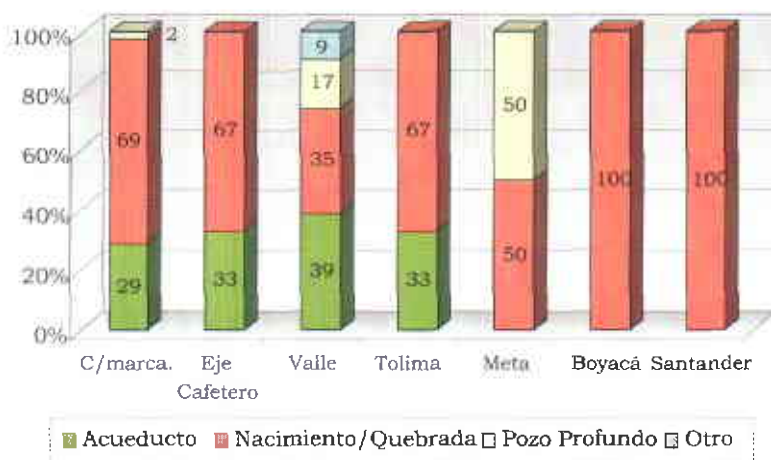
sumos máximos permitidos para explotaciones pecuarias. En la gráfica 6 se observa una elevada proporción de granjas que toman el agua de un nacimiento y/o quebrada, lo que inmediatamente se relaciona con una fuente que no presenta restricción en el momento de hacer su captación, pues no representa un gasto para la granja como si lo puede ser el tomar el agua de un acueducto o de pozos profundos. Existe un 2% que toma el agua de aljibes y niveles freáticos.

Gráfica 6. Abastecimiento de agua a nivel nacional



En el gráfico 7 se aprecia que hay zonas con abundantes aguas superficiales, como el eje Cafetero, Cundinamarca, Boyacá y Santander y no tienen

necesidad de recurrir a fuentes de agua subterráneas como si lo hacen zonas como el Valle o Meta.



Gráfica 7. Abastecimiento de agua a nivel regional

4.1.5 INFRAESTRUCTURA DE LOS CORRALES

Tabla 17. Distribución porcentual del tipo de infraestructura de los pisos encontrados en los corrales

Grupo Etéreo	Tipo de infraestructura				
	Piso sólido	Piso ranurado	Piso ranurado con fosa inundada	Piso inundado y sist. Flushing	Piso sólido con cama permanente
Reemplazo	90.1	2.8	1.4	1.4	4.3
Gestación	76.3	12.5	2.5	5.0	3.7
Lactancia	49.3	27.4	6.8	6.8	9.7
Precebos	35.6	41.1	9.7	8.2	5.4
Levante	89.1	1.6	3.1	1.6	4.6
Ceba	90.0	3.3	5.0		1.7
Reproductores	95.3	1.6			3.1

4.1.6 OPERACIONES DE LIMPIEZA

Tabla 18. Equipos usados para las prácticas de aseo dentro de las instalaciones porcícolas

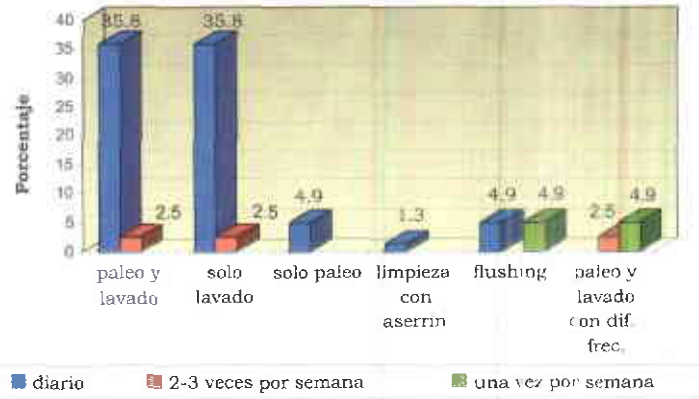
Equipo de lavado	No. granjas	%	%
Manguera sin pistola y/o Balde	29	31.9	54.7
Manguera con pistola	8	8.7	15.1
Equipo de alta presión	16	17.6	30.2
ns / nr *	38	41.8	—
TOTAL	91	100.0	100.0

* : No sabe / No responde.

Dentro de las prácticas de aseo implementadas en los corrales, la limpieza con manguera sin pistola y/o balde es lo más común (31,9%); no obstante, hacer el aseo con equipos de alta presión tienen ya una buena representación (17,6%). El 41,8% de los encuestados no respondió esta pregunta.

En la gráfica 8, se observa que para el grupo etéreo de gestación el 71.6 % del total de granjas

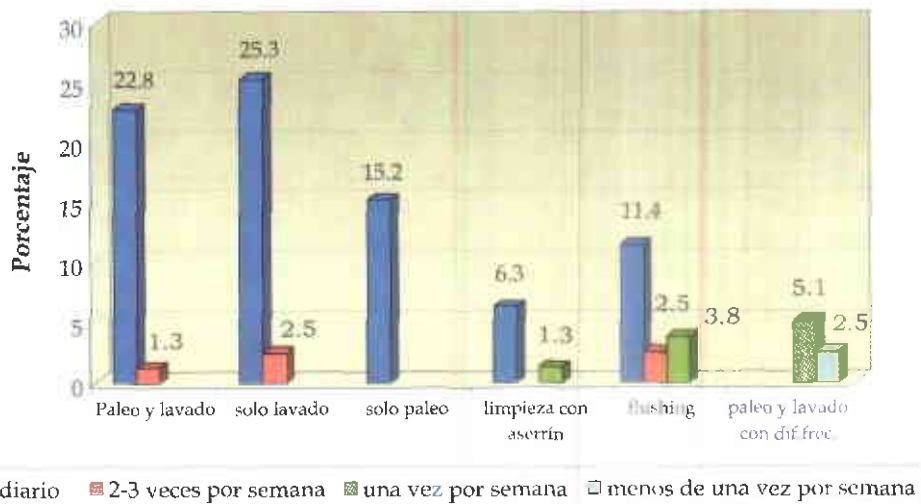
estudiadas efectúa operaciones de barrido en seco (paleo) y lavado diario con agua. El 7.5 % paleo y lavado con diferentes periodicidades; 2.5 % paleo diario y lavado 3 veces por semana; el 5% paleo diario y lavado una vez semanalmente. El sistema de lavado con "Flushing" es realizado diariamente en un 4,9% de las granjas y también una vez por semana en el 4,9% de las granjas. De otra parte, solo un 4,9% realiza operaciones de barrido en seco.



Gráfica 8. Operaciones de limpieza. Grupo etéreo: Gestación (dif. frec. = diferente frecuencia)

En la gráfica 9 se muestra que en la fase etérea de lactancia el aseo de los corrales se realiza con una frecuencia menor a cuatro veces por mes. Esta situación se justifica debido a que en la lactancia se tiene un estricto control en la temperatu-

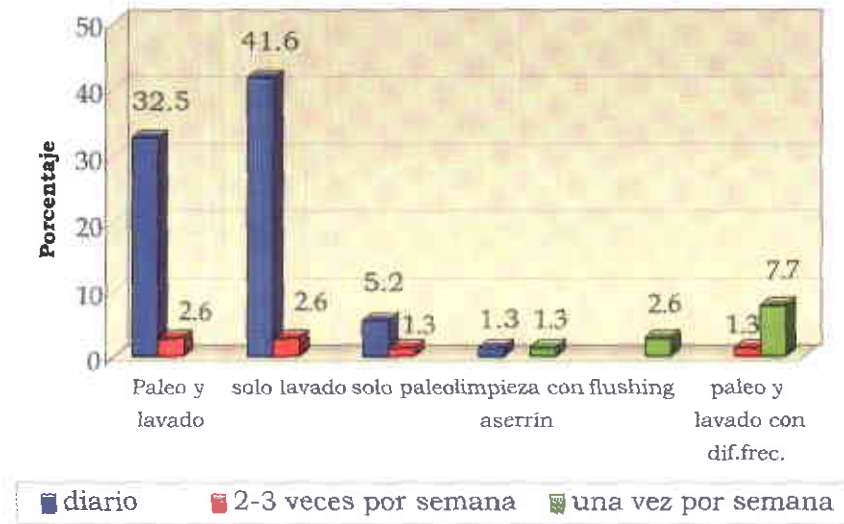
ra de los corrales para que los lechones no tengan problemas sanitarios, sobre todo de índole respiratorio. El sistema de lavado con "flushing" y el aseo con aserrín son dos prácticas muy extendidas entre los porcicultores estudiados (17,7% y 7,6% respectivamente).



Gráfica 9. Operaciones de limpieza. Grupo etéreo: Lactancia (dif. frec. = diferente frecuencia)

En la etapa de reemplazos (gráfica 10) el 41.6 % de las granjas visitadas realiza lavado diariamente, el 32.5 % barrido en seco y lavado diario y un 9 % efectúan barridos diarios con diferentes frecuencias de lavado.

Para la limpieza de los corrales de precebos (gráfica 11) en las granjas estudiadas se encontró el sistema de lavado "flushing" (30 %) de los cuales el 21.3 % lo realizan a diario. Un 25.3 % efectúan lavados diarios con manguera y un 22.7 % primero realizan operaciones de barrido en seco y posteriormente lavado con manguera.



Gráfica 10. Operaciones de limpieza. Grupo etéreo: Reemplazos



Gráfica 11. Operaciones de limpieza. Grupo etéreo: Precebos

Finalmente, en los grupos etéreos de Levante, Ceba y Reproductores (gráfica 12) se encontró que el 45.3 % realiza lavados diarios, el 27.4 %

barrido en seco y lavado, un 4.8 % lavados diarios con el sistema "flushing" y un 11.9 % efectúan solamente operaciones de barrido en seco.



Gráfica 12. Operaciones de limpieza. Grupos etéreos: Levante, Ceba y Reproductores

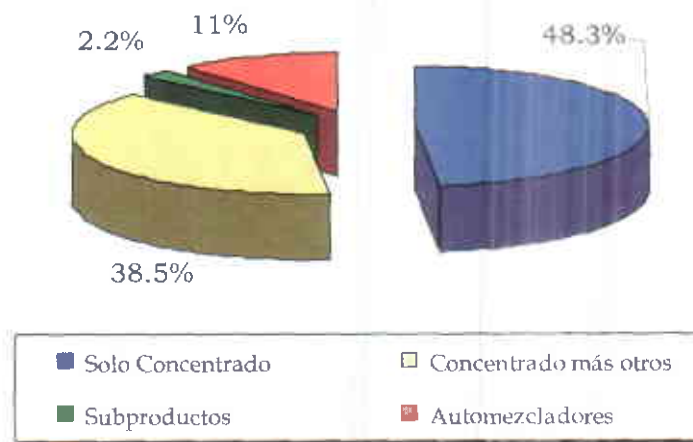
Nota aclaratoria: La opción solo paleo se refiere a que el aseo de los corrales con agua, solo se

efectúa al terminar el ciclo.

4.1.7 TIPO DE ALIMENTACIÓN

Se observa en la gráfica 13 que el 48.3% de los productores encuestados, alimentan únicamente

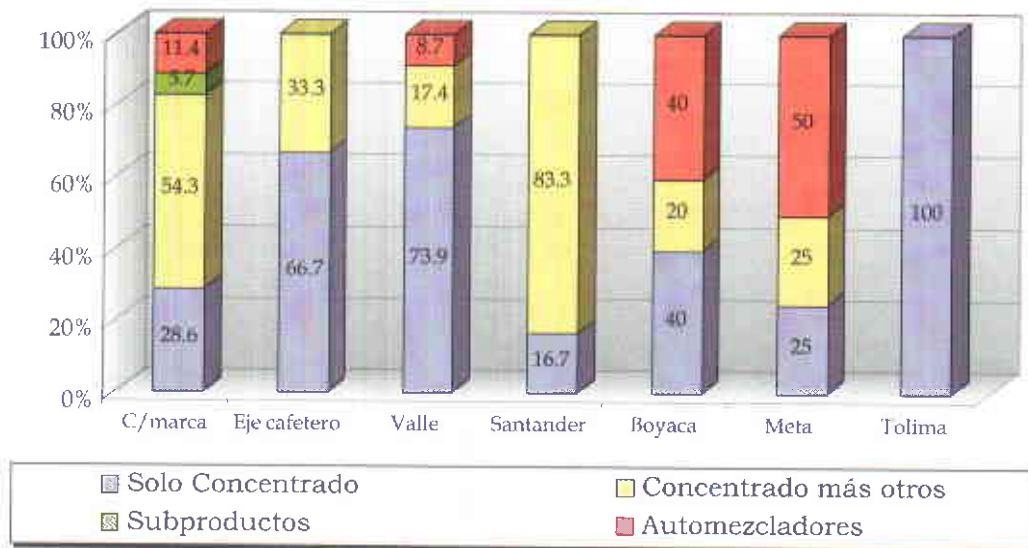
con concentrados comerciales y el 49.5 % lo hacen con dietas modificadas.



Gráfica 13. Alimentación suministrada a los animales (nacional)

Las dietas modificadas consisten en mezclas de subproductos industriales (desechos de panadería, harina de sangre etc.) con concentrados; estas son formuladas y ajustadas dependiendo de las necesidades nutricionales de los animales. Así

mismo, se encontró un 2,2 % de productores que utilizan desechos de restaurantes (lavaza), de cosechas, de aves muertas, para alimentar sus animales con énfasis en el grupo etéreo de ceba. En la gráfica 14 se presentan los resultados obtenidos por regiones.



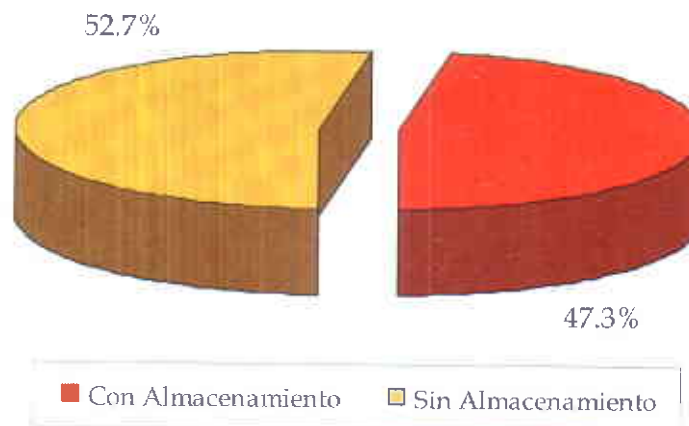
Gráfica 14. Alimentación suministrada a los animales (Regional)

4.2 ALMACENAMIENTO Y TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA PORCICOLA

4.2.1 ALMACENAMIENTO

Se entiende por sistema de almacenamiento de aguas residuales aquellos dispositivos, que permiten en un momento determinado almacenar por un lapso de tiempo, las aguas generadas en las operaciones de limpieza de los corrales de la granja.

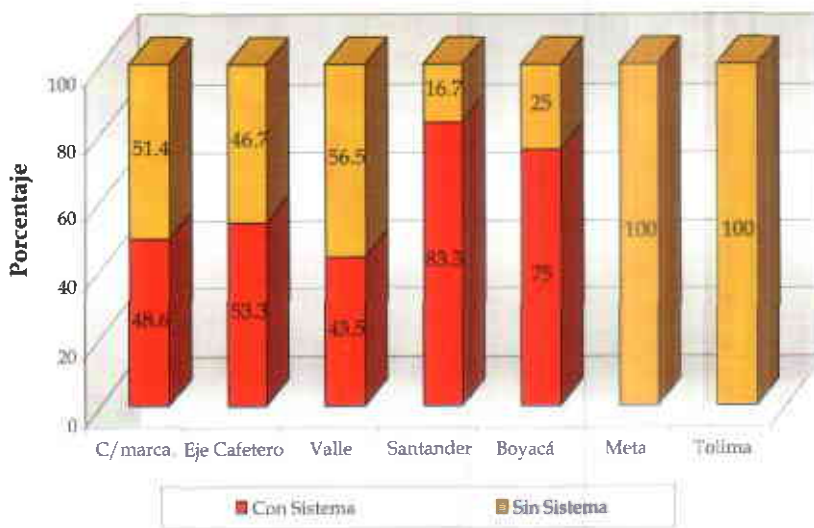
Como se observa en la gráfica 15 el 47.3 % de las granjas estudiadas dispone de algún sistema para almacenar las aguas residuales. Cuando existe la posibilidad de almacenar aguas residuales, estos sistemas se convierten en homogenizadores de caudales. Con lo cual los sistemas de tratamiento primarios o secundarios que se implanten se podrán operar en forma eficiente, ya que el caudal de entrada será regulado; de otra parte, estos son de gran utilidad cuando se presentan contingencias.



Gráfica 15. Almacenamiento de aguas residuales (Nivel Nacional)

En el gráfico 16 se puede apreciar el comportamiento regional en cuanto a la presencia o no de algún dispositivo para almacenar las aguas residuales; vale la pena destacar que en todas las

granjas visitadas en los departamentos del Tolima y Meta, no se encontraron dispositivos para el almacenamiento de estas.

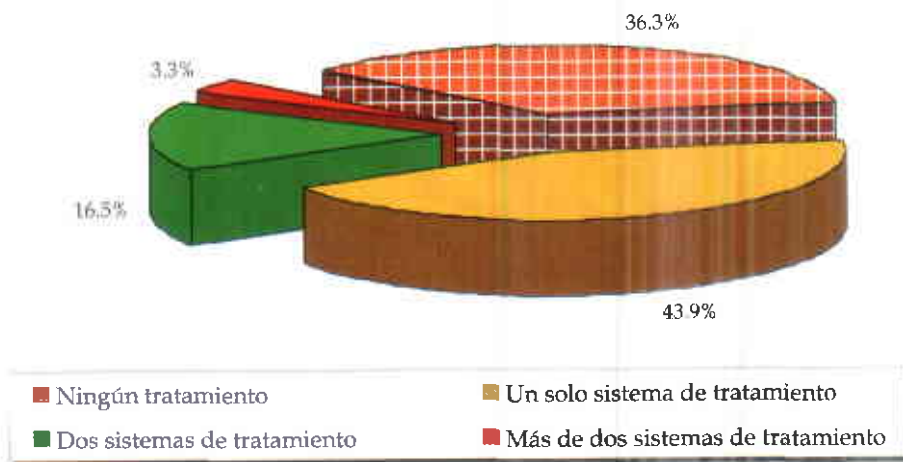


Gráfica 16. Almacenamiento de aguas residuales (Nivel Regional)

4.2.2 SISTEMAS DE TRATAMIENTO

Se observa en la gráfica 17 que la mayoría de las granjas estudiadas (63.7%) dispone de uno o más

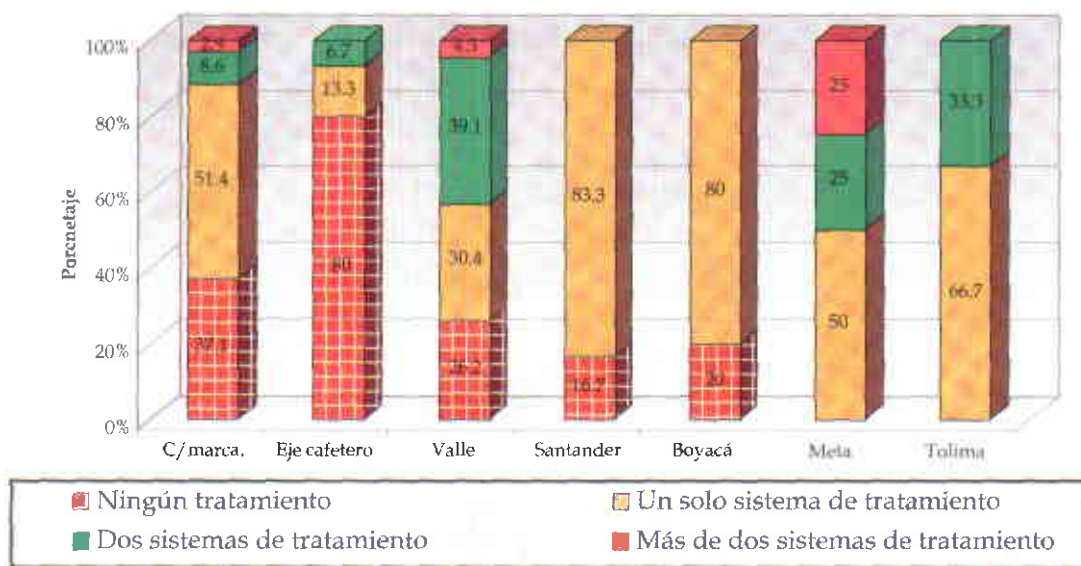
sistemas para el tratamiento de aguas residuales.



Gráfica 17. Número de sistemas de tratamiento implementados en las granjas (Nivel Nacional)

En la gráfica 18 se puede ver que hay regiones en las cuales, un alto porcentaje de granjas visi-

tadas no disponen de control de las aguas residuales.



Gráfica 18. Número de sistemas de tratamiento implementados en las granjas (Nivel Regional)

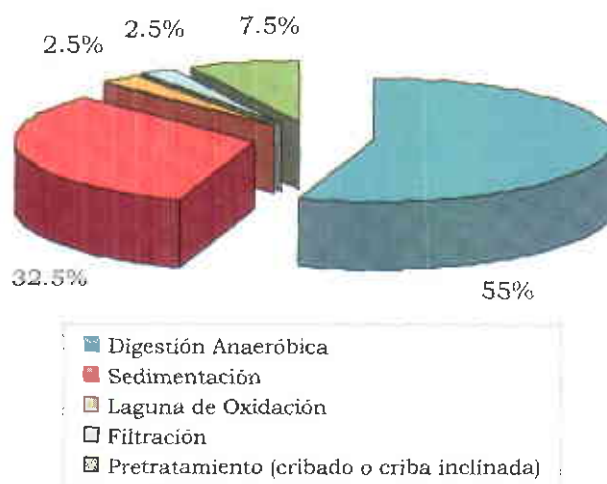
Del total de granjas estudiadas, el 46.15% tiene dispositivos para separar las aguas lluvias de las

generadas en las operaciones de limpieza y manejo.

4.2.3 TIPOS DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO

De la información recopilada a través de las encuestas y las visitas de campo, se detectó que básicamente los sistemas primarios y secundarios son los de mayor implementación en las granjas; aunque pocos, también existen sistemas de pre-tratamiento los cuales para efectos de análisis posteriores, se considerarán como sistemas primarios.

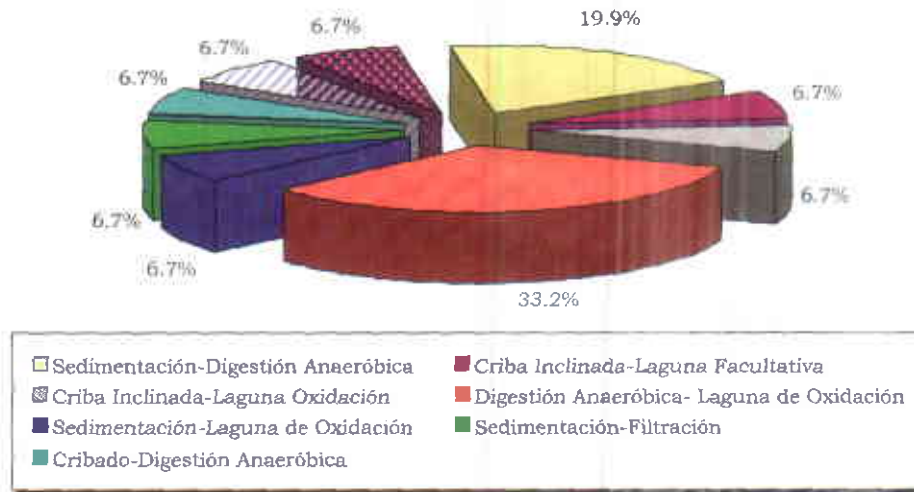
Vale la pena anotar que tal vez por el poco espacio que pueden ocupar y por su manejo relativamente sencillo, el sistema primario que predomina es el sedimentador, en tanto que de los sistemas secundarios es el digester anaeróbico el que se impone sobre los demás (Gráfica 19)



Gráfica 19. Granjas con un solo sistema de tratamiento (Nacional)

De la gráfica 20 se desprende que hay granjas que disponen de dos sistemas de tratamiento para el manejo de las aguas residuales, destacándose:

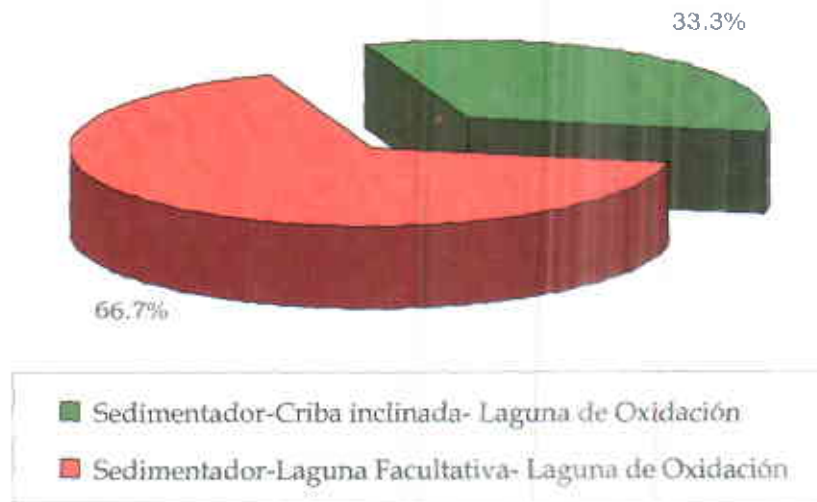
Digestión anaerobia - Laguna de oxidación (33.2 %), Sedimentación - Digestión anaerobia (19.9 %).



Gráfica 20. Gránjas con dos sistemas de tratamiento en serie (Nacional)

De igual manera, se encontraron granjas que tienen implementados tres sistemas de tratamiento

en serie, la mayoría de estos con combinación de procesos de separación físicos con biológicos (Gráfica 21).



Gráfica 21. Gránjas con más de dos sistemas de tratamiento en serie (Nacional)

4.2.4 RELACIÓN ENTRE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO Y TAMAÑO DE LA GRANJA

Teniendo en cuenta los criterios enunciados anteriormente, en la Tabla 19 se presenta las diferentes alternativas de tratamiento encontradas, con

sus respectivos porcentajes, para el grupo de granjas pequeñas:

Tabla 19. Sistemas de tratamiento encontrados para las granjas de tamaño pequeño

Sistema de tratamiento	Porcentaje (%)
Sin tratamiento	42.5
Digestión Anaerobia	37.5
Sedimentación	7.5
Filtración	2.5
Digestión Anaerobia - Laguna de Oxidación	3.75
Sedimentación - Digestión Anaerobia	2.5

En las tablas 20 y 21 respectivamente, se resumen las diferentes alternativas de manejo y los

porcentajes correspondientes, para las granjas medianas y grandes.

Tabla 20. Sistemas de tratamiento encontrados en el grupo de granjas de tamaño mediano

Sistema de tratamiento	Porcentaje (%)
Sin tratamiento	20
Digestión Anaerobia	16
Sedimentación	20
Cribado (Pretratamiento)	12
Laguna de Oxidación	4
Sedimentación - Digestión Anaerobia	8
Digestión Anaerobia - Laguna de Oxidación	4
Cribado - Digestión Anaerobia	4
Sedimentación - Filtración	4
Sedimentación- Criba Inclinada Laguna de Oxidación	4
Sedimentación- Laguna facultativa - Laguna de Oxidación	4

Tabla 21. Sistemas de tratamiento encontrados en el grupo de granjas de tamaño grande

Sistema de tratamiento	Porcentaje (%)
Sin tratamiento	42.3
Sedimentación	19.22
Digestión Anaerobia	11.53
Digestión Anaerobia - Laguna de Oxidación	7.7
Cribado - Sedimentación	3.85
Criba Inclinada - Laguna de Oxidación	3.85
Criba Inclinada - Laguna facultativa	3.85
Sedimentación- Laguna facultativa - Laguna de Oxidación	7.7

A continuación se relacionan los diferentes sistemas de tratamiento con el área total de la granja; de las granjas encuestadas, el 89.01%(81 granjas) informó acerca del área total del predio.

Con el fin de integrar en varios grupos las 81 granjas, en la tabla 22 se presenta los porcentajes correspondientes para los diferentes rangos de área.

Tabla 22. Grupos de clasificación de las granjas del estudio con respecto al área

Area (Hectáreas)	Porcentaje de granjas (%)
Menos de 5	37.04
Mas de 5 menos de 10	22.22
Mas de 10 menos de 20	13.58
Mas de 20 menos de 50	12.35
Mas de 50	14.81

Para las granjas que poseen menos de 5 hectáreas en la tabla 23 se reporta los diferentes sistemas de tratamiento implementados y los porcentajes correspondientes:

Tabla 23. Sistemas de tratamiento encontrados en las granjas con menos de 5 hectáreas

Sistema de tratamiento	Porcentaje (%)
Sin tratamiento	23.4
Digestión Anaerobia	36.7
Sedimentación	16.7
Cribado (Pretratamiento)	3.3
Filtración	3.3
Cribado - Digestión Anaerobia	3.3
Sedimentación - Filtración	3.3
Digestión Anaerobia - Laguna de Oxidación	6.7
Sedimentación- Laguna facultativa - Laguna de Oxidación	3.3

En las Tablas 24 y 25 se presentan los sistemas de tratamiento encontrados y los porcentajes correspondientes, para las granjas que disponen de

un área que se encuentra entre 5 y 20 hectáreas y para áreas superiores a 20 hectáreas respectivamente.

Tabla 24. Sistemas de tratamiento encontrados en las granjas con mas de 5 y menos de 20 hectáreas

Sistema de tratamiento	Area [Hectáreas]	
	5<Area<10 Porcentaje (%)	10<Area<20 Porcentaje (%)
Sin tratamiento	50	18.2
Digestión Anaerobia	16.6	27.2
Sedimentación	16.6	18.2
Cribado (Pretratamiento)	0	9.1
Sedimentación - Digestión Anaerobia	0	9.1
Criba inclinada - Laguna facultativa	0	9.1
Sedimentación - Criba inclinada- laguna de oxidación	5.6	0
Digestión Anaerobia - Laguna de Oxidación	5.6	9.1
Sedimentación- Laguna facultativa-Laguna de Oxidación	5.6	0

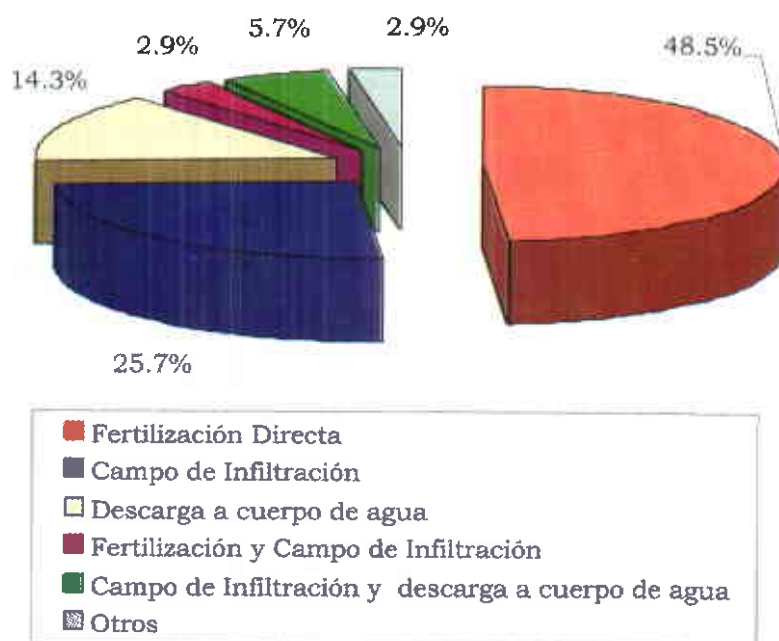
Tabla 25. Sistemas de tratamiento encontrados en las granjas con mas de 20 hectáreas

Sistema de tratamiento	Area [Hectáreas]	
	20<Area<50 Porcentaje (%)	Area>50 Porcentaje (%)
Sin tratamiento	40	50
Digestión Anaerobia	20	8.3
Sedimentación	0	25
Cribado (Pretratamiento)	0	8.4
Laguna de Oxidación	0	8.3
Sedimentación - Digestión Anaerobia	10	0
Criba inclinada - Laguna de oxidación	10	0
Digestión Anaerobia - Laguna de Oxidación	20	0

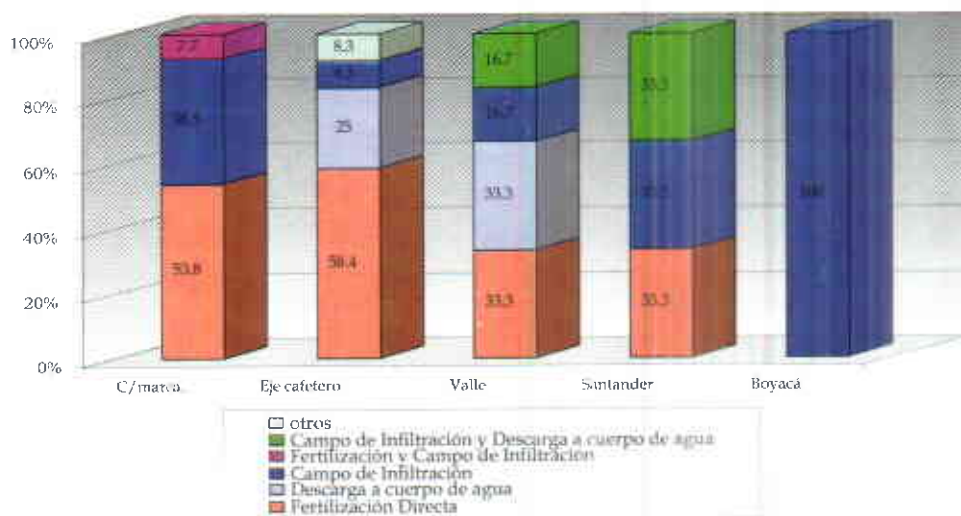
4.2.5 DISPOSICIÓN FINAL DEL AGUA RESIDUAL SIN TRATAMIENTO

Es importante destacar que un número elevado de granjas utilizan la técnica de "fertilización directa" de manera incorrecta debido a que no se tienen en cuenta las características de los suelos, las necesidades nutricionales de los cultivos y las características fisicoquímicas de las aguas

residuales que se están aplicando como fertilizantes. En las gráficas 22 y 23 se observa que el 48.5 % de las granjas estudiadas fertiliza en forma directa, un 25.7 % dispone los vertidos en campos de infiltración y un 14.3 % descarga sus aguas residuales a los cuerpos de agua.



Gráfica 22. Disposición del agua residual en granjas sin sistema de tratamiento (Nivel Nacional)

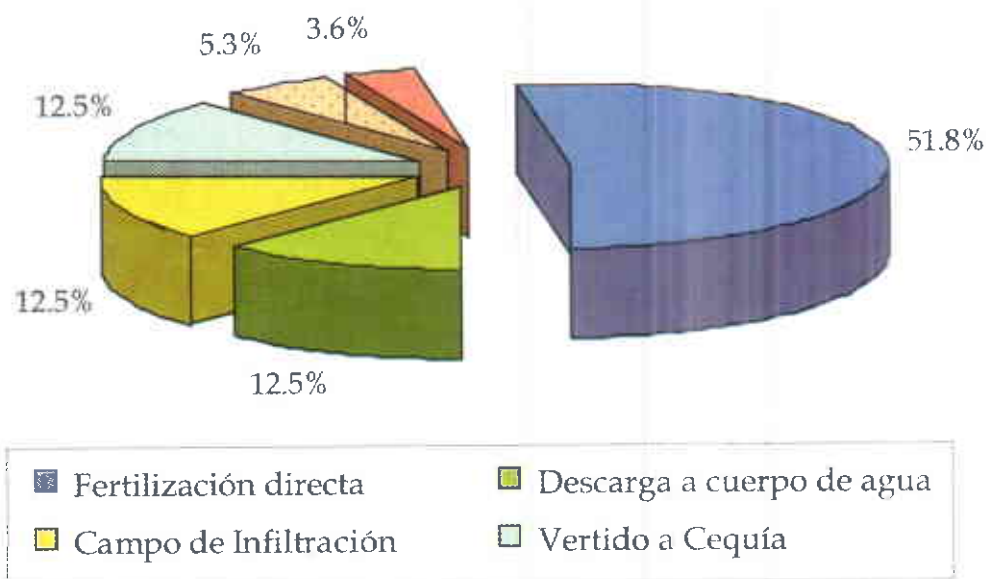


Gráfica 23. Disposición del agua residual en granjas sin sistema de tratamiento (Nivel Regional)

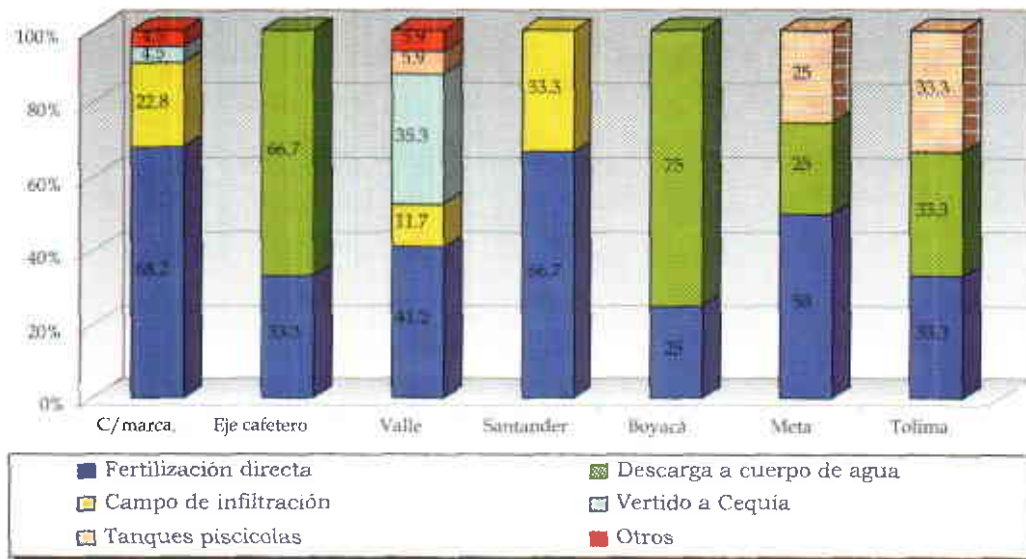
4.2.6 DISPOSICIÓN FINAL DEL EFLUENTE POSTERIOR A UN TRATAMIENTO

Con respecto a los efluentes de los sistemas de tratamiento la disposición final de estos es similar al caso anterior, el 51.8 % de las granjas realizan

aplicación sobre el suelo (fertilización), el 12.5 % utiliza campos de infiltración, el 12.5 % descarga a cuerpos de agua (Gráficas 24 y 25).



Gráfica 24. Disposición del efluente posterior al sistema de tratamiento (Nivel Nacional)

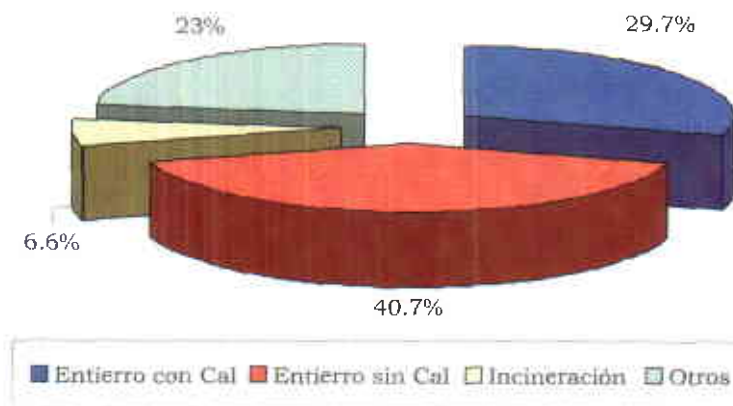


Gráfica 25. Disposición del efluente posterior al sistema de tratamiento (Nivel Regional)

4.3 MANEJO DE LA MORTALIDAD

La mayoría de los productores estudiados (70.4 %), dispone de la mortalidad enterrándola en huecos hechos en la tierra, sin ningún tipo de imper-

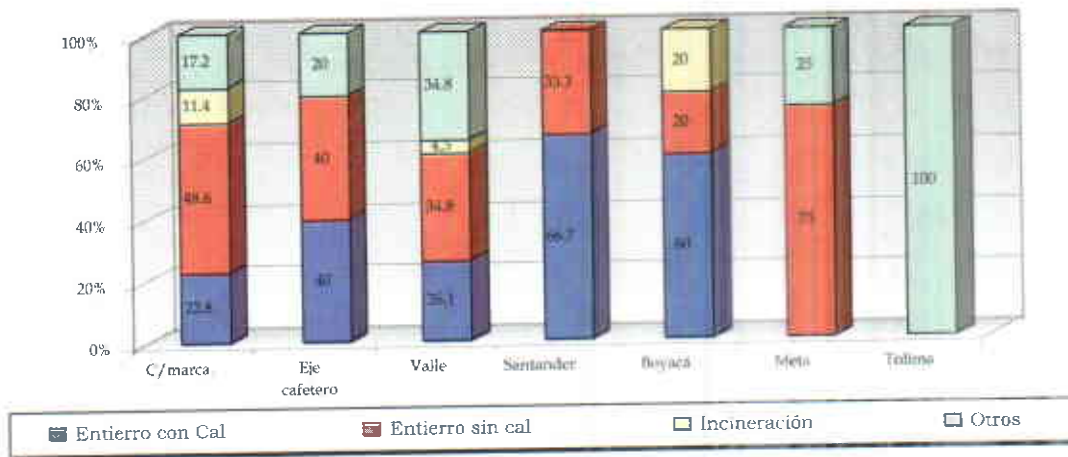
meabilización; estos se utilizan una sola vez y cuando se presenta la muerte de más animales, se abre otro hueco.



Gráfica 26. Manejo de la mortalidad (Nivel Nacional)

Algunos productores construyen fosas de cemento, con lo cual el manejo de la mortalidad es mas seguro desde el punto de vista de bioseguridad y ambiental. Vale la pena destacar que, salvo problemas sanitarios, los índices de mortalidad en las

granjas son bajos. Cuando los animales mueren por estrés, infartos, estos se utilizan como alimentación de perros. (Otros: fosas, Alimentación de perros) (Gráficas 26 y 27).

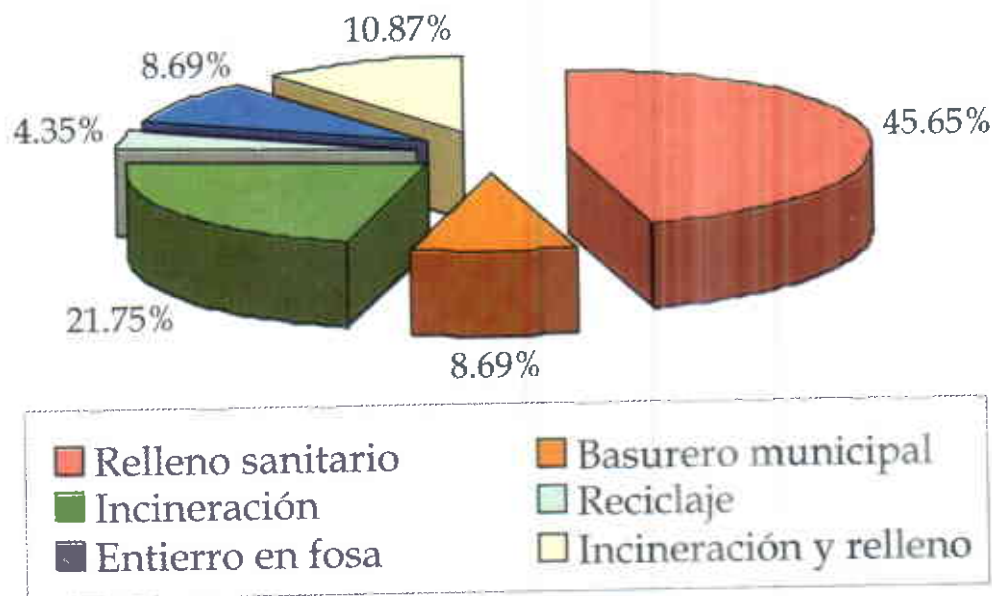


Gráfica 27. Manejo de la mortalidad (Nivel Regional)

4.4 MANEJO DE OTROS RESIDUOS

Del total de granjas estudiadas el 50.54% (46 granjas) informó acerca de la disposición de los residuos biológicos. En el siguiente gráfico se repre-

sentan las diferentes alternativas encontradas para la disposición del material biológico y los porcentajes correspondientes para las 46 granjas.



Gráfica 28. Alternativas de manejo para los residuos biológicos generados en las granjas

El 71.43% (65 granjas) reportaron información sobre el manejo de otros residuos como vidrio, plástico, cartón y madera. De las 65 granjas, el 20

% no realiza separación de los residuos, encontrándose para este grupo las siguientes alternativas de manejo:

Tabla 26. Alternativas de manejo encontradas para las granjas que no separan los residuos

Alternativa	Porcentaje(%)
Relleno sanitario	15.38
Secado e incineración	38.46
Reciclaje	23.08
Incineración y relleno	23.08

El 80% restante separan uno o más de los residuos para darles un tratamiento diferente a cada uno de ellos. Se encontró que 26 granjas separan

el vidrio, 13 separan el cartón y 17 los residuos plásticos (Tabla 27):

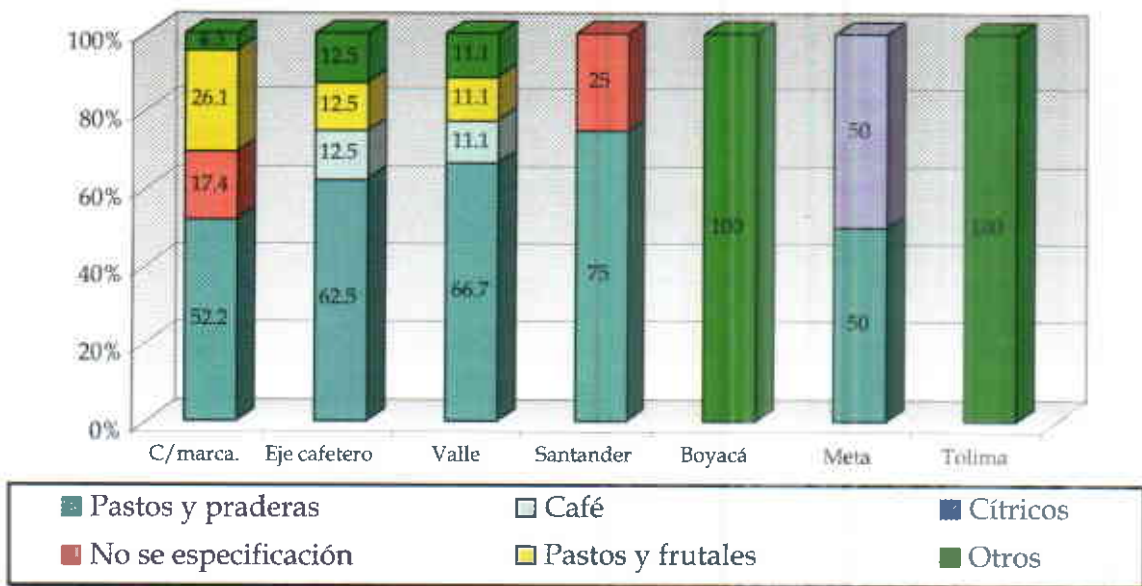
Tabla 27. Alternativas de manejo encontradas para las granjas que separan el Vidrio, el Cartón y el Plástico

Alternativa	Residuo		
	Vidrio (%)	Cartón (%)	Plástico (%)
Relleno sanitario	46.15	7.69	0
Basurero Municipal	3.85	7.69	5.88
Secado e incineración	0	46.16	52.94
Reciclaje	30.77	23.08	35.3
Incineración y relleno	11.54	0	5.88
Entierro en fosa	7.69	0	0
Compost-Abono	0	15.38	0

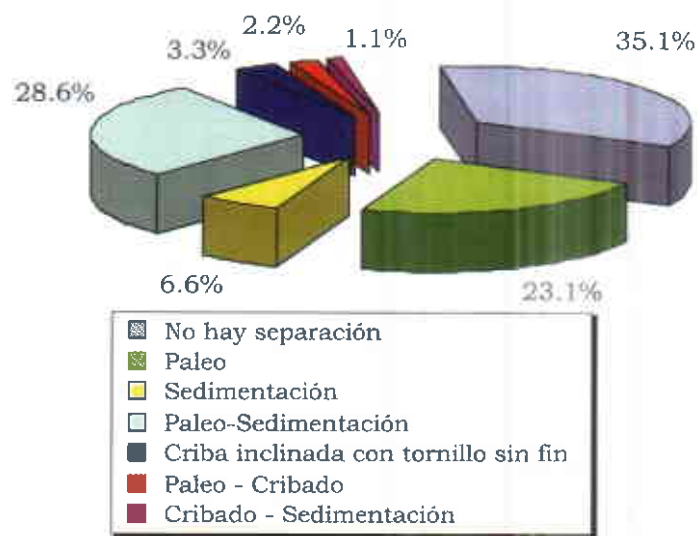
4.5 FERTILIZACIÓN DE CULTIVOS

En este apartado se hace referencia a los diferentes cultivos en los cuales se dispone finalmente el agua residual de la granja, indistintamente si ha pasado o no por un sistema de tratamiento. A nivel nacional se observa que el principal cultivo fertilizado con estiércol es el de pastos y praderas con una participación del 56.2 %; un 16.7 % fertiliza pastos y frutales. Cuando se menciona otros

se refiere a las granjas donde fertilizan cultivos como: ramio, plátano y cítricos, caña de azúcar, café y pastos, bóre, caña brava y guadua, alfalfa, entre otros. A su vez, las granjas que están dentro del grupo que no se especifican, son por lo general las que ceden las aguas residuales a algún vecino para que este haga la fertilización. (Gráficas 29 y 30).



Gráfica 29. Tipo de cultivos fertilizados (Nacional)

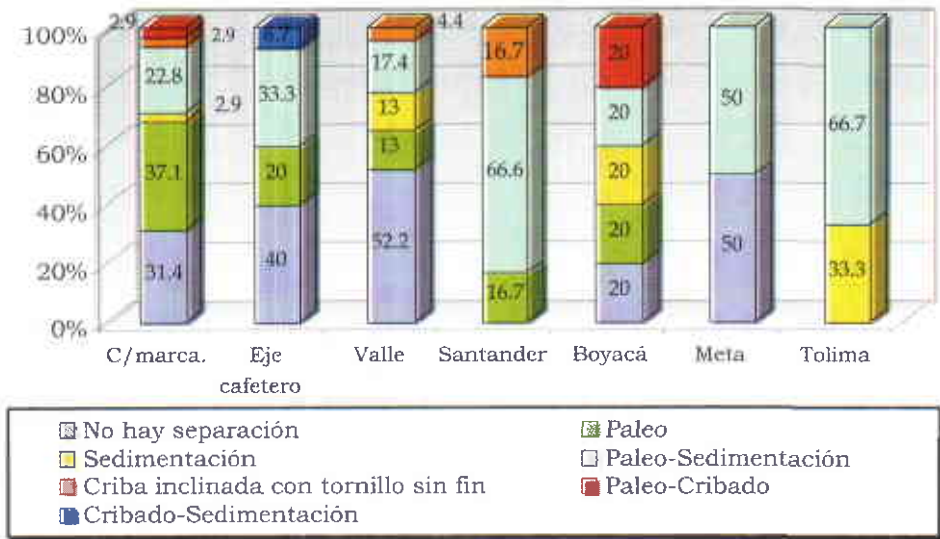


Gráfica 30. Tipo de cultivos fertilizados (Regional)

4.6 SEPARACIÓN DE SÓLIDOS

Los sistemas de separación de sólidos utilizados por los productores van desde el simple paleo en los corrales (separación en la fuente) hasta sistemas más complejos como lo son las cribas inclinadas con tornillo sinfín. Aunque la mayoría de

los poricultores encuestados separan los sólidos en algún momento (64,9 %), hay un porcentaje importante que no tiene implementada esta práctica. Comportamientos a nivel nacional y por zonas son presentados en las gráficas 31 y 32.



Gráfica 31. Separación de sólidos (Nacional)

4.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS AGUAS RESIDUALES

En el siguiente apartado se hace un análisis estadístico de los parámetros físico-químicos evaluados para las aguas residuales generadas en las granjas porcícolas estudiadas con la finalidad de conocer si hay o no cambios en estas cuando son sometidas a diferentes sistemas de tratamiento. El criterio para la agrupación es el tipo de tratamiento que se hace en la granja:

Grupo No. 1: Sin tratamiento. Se encuentran las granjas en donde no se realiza ninguna práctica para reducir los niveles de contaminación de las aguas residuales (incluye las granjas que cuentan con dispositivos de almacenamiento, pero que puntualmente realizan descargas de las aguas almacenadas).

Grupo No. 2: Tratamiento Primario. Reúne las granjas en donde se cuenta con algún sistema primario para el tratamiento de las aguas residuales tales como sedimentadores, cribas y filtros de piedra y arena.

Grupo No. 3: Tratamiento Secundario. Aquí se encuentran las granjas que disponen de un tratamiento biológico para la remoción de material or-

gánico en las aguas residuales; estos pueden ser: biodigestores anaeróbicos (tipo balón o taiwanes, de campana fija y de campana móvil), lagunas anaerobias y facultativas, lagunas de oxidación y plantas acuáticas.

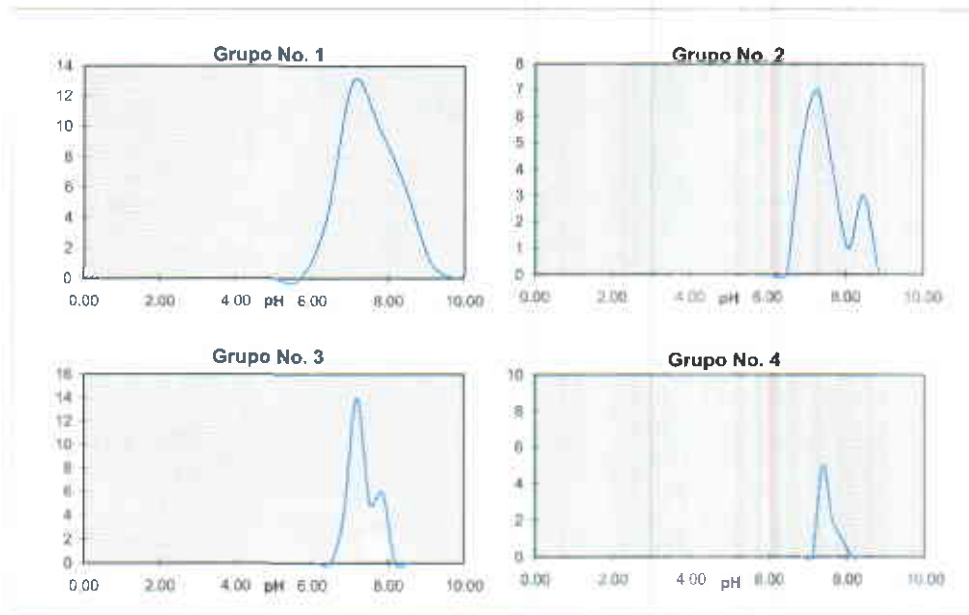
Grupo No. 4: Tratamiento combinado. Aquí se agrupan las granjas que cuentan, para el tratamiento de sus aguas residuales con la combinación de sistemas primarios con sistemas secundarios. Las combinaciones encontradas fueron: Sedimentadores y biodigestores anaeróbicos tipo taiwanes; cribado y lagunas facultativas; cribado y lagunas de oxidación; sedimentadores y lagunas de oxidación; cribado y biodigestores anaeróbicos tipo taiwanes; sedimentadores y cribado mas laguna de oxidación y finalmente, sedimentadores mas lagunas facultativa y de oxidación.

Sobre el total de datos para cada grupo, se calcula el valor promedio y la desviación estándar y con ellos se construye la distribución de frecuencia con el ánimo de determinar los rangos típicos para los diferentes parámetros y el grupo analizado. Se debe tener en cuenta que el análisis estadístico se basó en las concentraciones de cada uno de los parámetros evaluados y no sobre las cargas, debido a que tan solo el 38,5% de las granjas estudiadas tenían registros de consumo de agua.

4.7.1 pH

Observando los diferentes gráficos, se pueden establecer que los sistemas de tratamiento biológico generan efluentes con un rango menor de pH y

con un efecto tampón mucho mas notorio. Esta situación es importante a la hora de utilizar estos efluentes en programas de fertilización de cultivos.



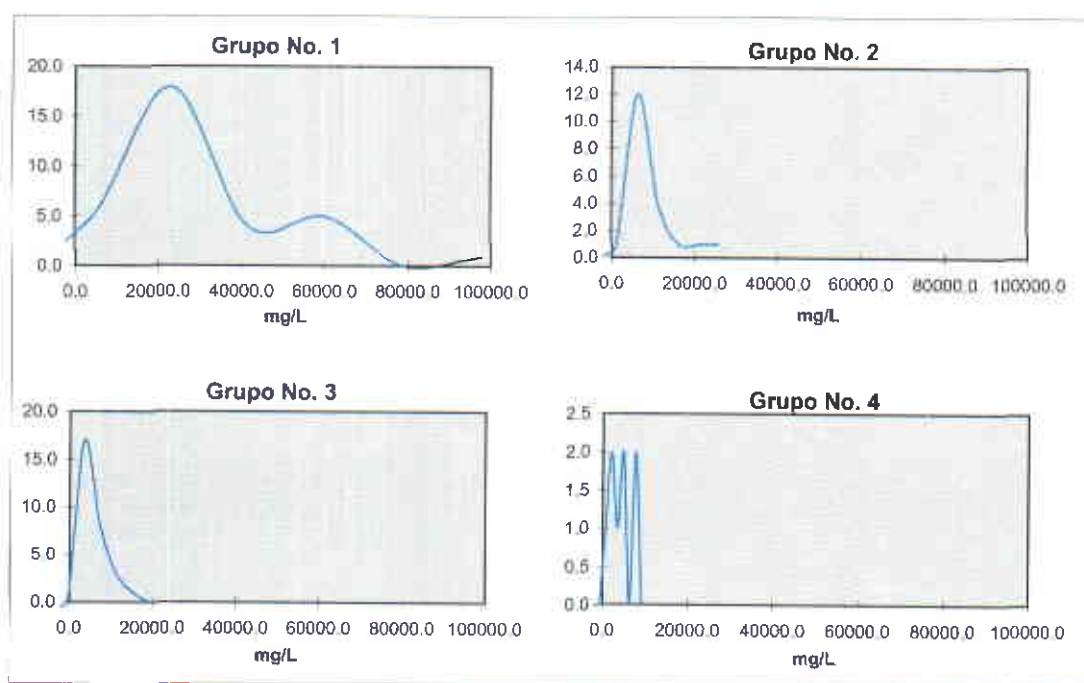
Gráfica 33. Curva de distribución de frecuencia para el pH

PARÁMETRO: pH				
Grupo	Media Arit.	V/r máximo	V/r mínimo	Desviación estándar
1	7.06	8.86	5.75	0.73
2	7.25	8.35	6.53	0.55
3	7.17	7.81	6.59	0.36
4	7.35	7.75	7.11	0.19

4.7.2 DQO

Para este parámetro, se aprecia con mayor claridad en las gráficas la diferencia entre tratar las aguas residuales y no hacerlo. Aquellas granjas en donde no se trata la fracción líquida, los niveles

de carga orgánica expresada como la DQO varían mucho mas de lo que normalmente se puede apreciar en lugares donde siguen implantando algún tipo de manejo (Grupos 2, 3 y 4).



Gráfica 34. Curva de distribución de frecuencia para la DQO

Para el grupo No. 1 la desviación estándar presentó un valor más alto que para el resto de grupos; esta situación tendría explicación en el hecho de que las granjas manejan diferentes volú-

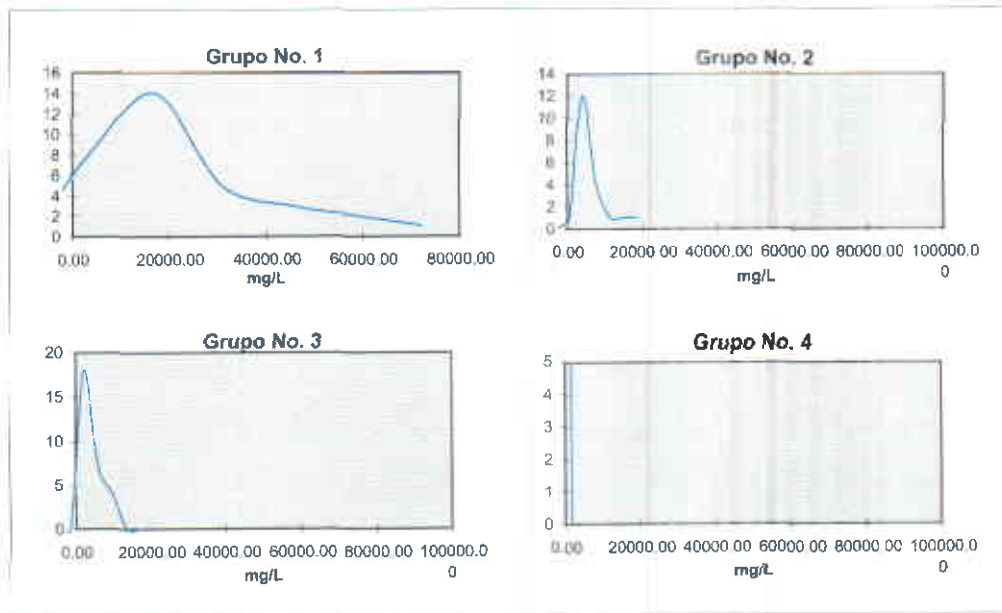
menes de agua en las operaciones de limpieza, generando variabilidad en la concentración de los parámetros estudiados.

PARÁMETRO: DQO				
Grupo	Media Arit.	V/r máximo	V/r mínimo	Desviación estándar
1	22930.6	111228.0	1076.0	25916.7
2	6152.3	24539.1	267.1	6009.3
3	3380.6	13267.0	411.4	3327.3
4	3435.1	7159.4	545.1	2551.3

4.7.3 DBO

El comportamiento de este parámetro comparado con la DQO es muy similar, lo cual corrobora que existe una relación entre ambos parámetros alre-

dedor del 80%, es decir, que por cada 100 mg/L de DQO hay aproximadamente 80 mg/L de DBO.



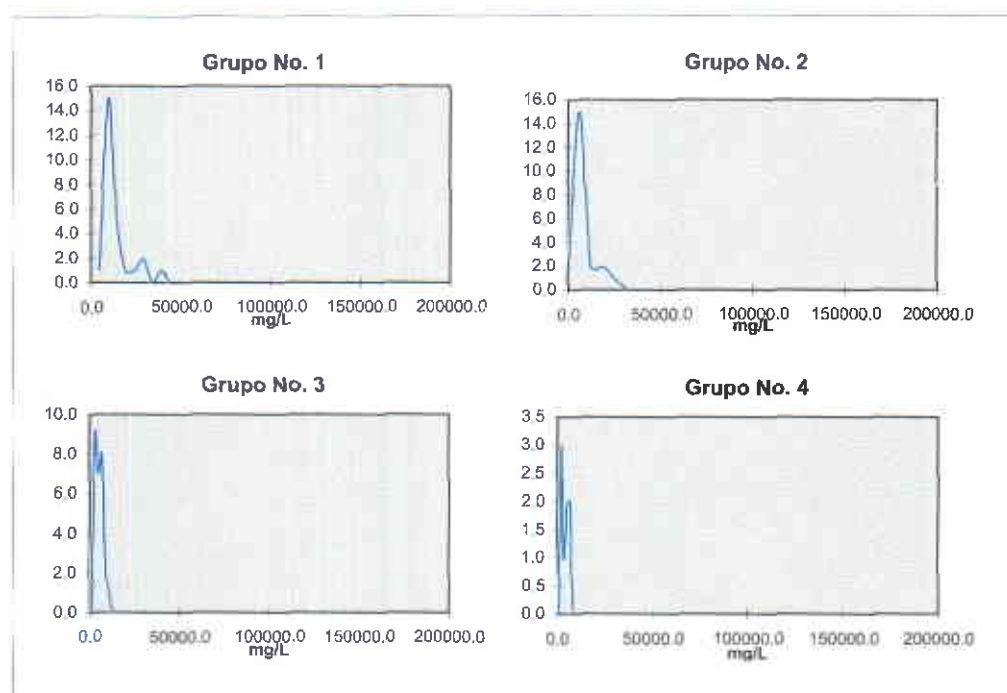
Gráfica 35. Curva de distribución de frecuencia para la DBO

PARÁMETRO: DBO				
Grupo	Media Arit.	V/r máximo	V/r mínimo	Desviación estándar
1	17410.5	89800.0	868.3	20639.8
2	4376.3	16896.4	140.0	4291.0
3	2471.7	9800.0	130.0	2630.8
4	2120.4	4953.0	297.6	1697.6

4.7.4 SOLIDOS TOTALES

Analizando el comportamiento de los sólidos totales se observa que hay una relación con los parámetros de la DQO y la DBO; los sólidos aportan

carga orgánica al agua residual reflejándose en el porcentaje de la DQO total.



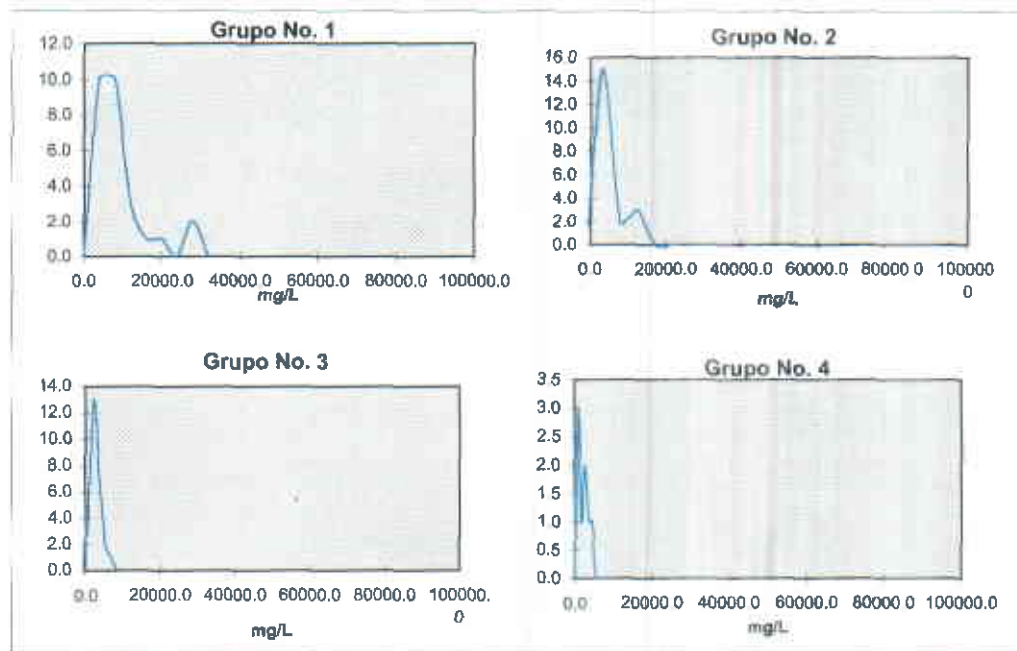
Gráfica 36. Curva de distribución de frecuencia para los ST

PARÁMETRO: ST				
Grupo	Media Arit.	V/r máximo	V/r mínimo	Desviación estándar
1	23470.6	139110	1475.0	4949.7
2	4930.5	19283.3	200.0	4944.5
3	4035.9	16189.0	836.9	3134.4
4	3099.9	6041.0	945.0	1997.9

4.7.5 SÓLIDOS VOLÁTILES

Existe una relación muy estrecha entre los sólidos totales y los sólidos volátiles, con lo cual su comportamiento es similar; esta situación se ob-

serva claramente en las curvas de distribución de frecuencia que se presentan a continuación.



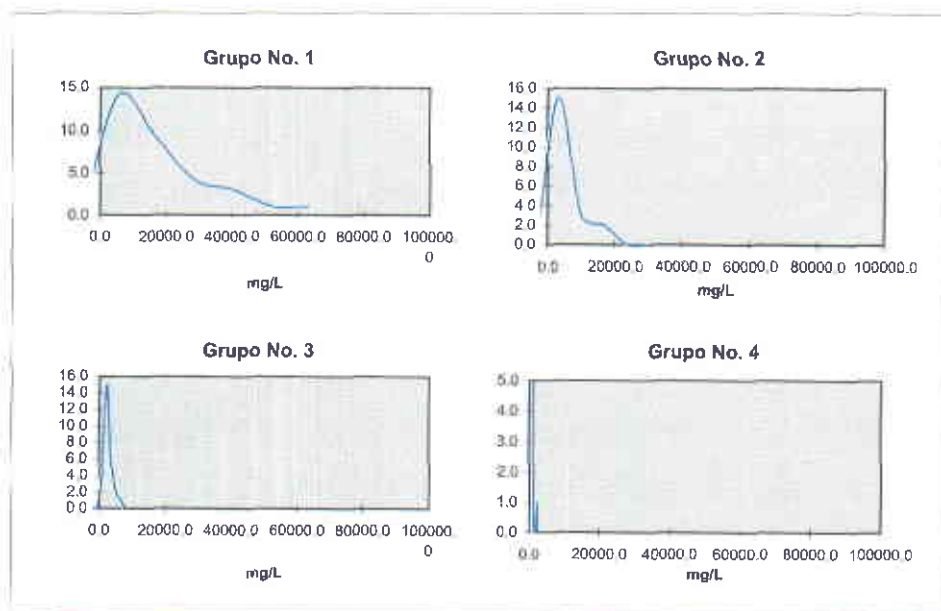
Gráfica 37. Curva de distribución de frecuencia para los SV

PARÁMETRO: SV				
Grupo	Media Arit.	V/r máximo	V/r mínimo	Desviación estándar
1	15856.0	80950.0	1150.0	3988.1
2	3051.2	10260.0	67.0	3006.5
3	2207.5	11589.0	206.5	2263.9
4	1662.2	4210.0	411.4	1341.9

4.7.6 SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

Se observa la tendencia de que a medida que el sistema de tratamiento es mas complejo la depuración es mejor y los niveles para los vertidos es

menor. Igualmente se observa que hay un estrechamiento de la curva haciendo mas claro que todo el grupo tiende hacia el mismo valor.



Gráfica 38. Curva de distribución de frecuencia para los SST

PARÁMETRO: SST				
Grupo	Media Arit.	V/r máximo	V/r mínimo	Desviación estándar
1	16470.1	86400.0	690.0	21426.3
2	2687.0	12030.3	50.0	3433.3
3	1753.4	12100.0	85.0	2348.9
4	1379.5	5200.0	163.3	1705.4

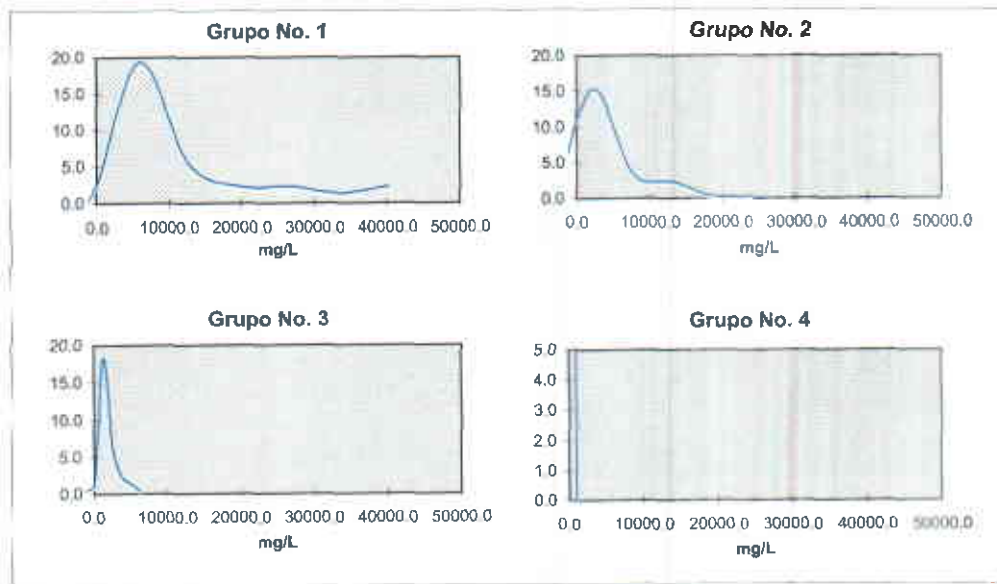
El comportamiento de los sólidos suspendidos totales, es similar a lo observado en los parámetros anteriores. Se puede deducir que en la medida en que se combinen diferentes sistemas de tratamiento como estrategia para el manejo de las aguas residuales, se consiguen mejores tasas de

reducción del material orgánico contaminante. De otra parte, el grupo No. 4 muestra una menor variabilidad (desviación estándar) en la concentración final de los efluentes, lo que puede significar que la combinación de sistemas primarios con secundarios arrojan resultados finales similares.

4.7.7 SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES

Ocurre algo similar al parámetro anterior en cuanto al comportamiento de las distribuciones de frecuencia, pero siendo desplazada hacia la izquier-

da, es decir, con valores menores a los reportados para las gráficas anteriores.



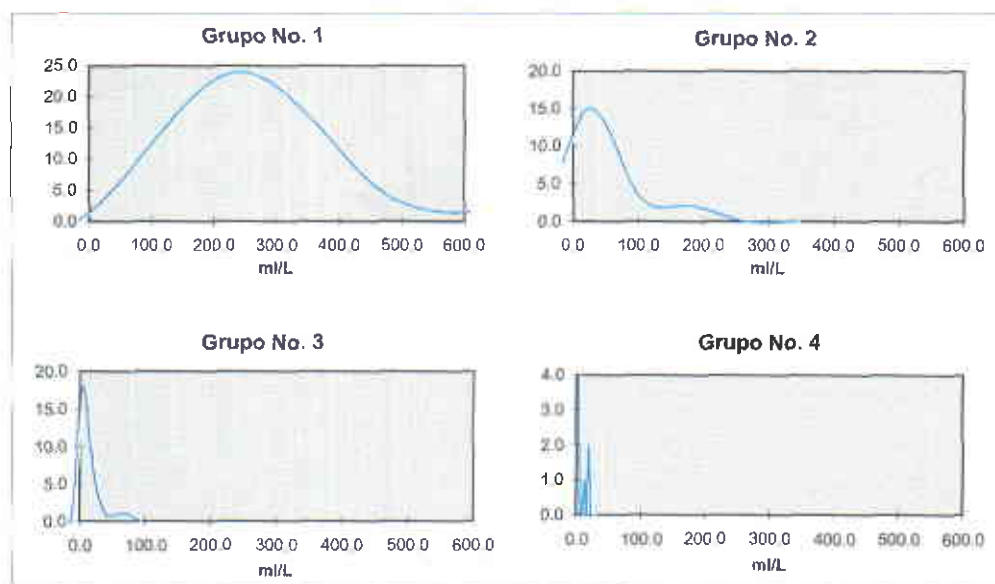
Gráfica 39. Curva de distribución de frecuencia para los SSV

PARÁMETRO: SSV				
Grupo	Media Arit.	V/r máximo	V/r mínimo	Desviación estándar
1	12718.7	63000.0	150.0	16711.6
2	2150.9	9666.7	35.0	2748.3
3	1325.9	9533.0	77.5	1864.9
4	1036.6	4055.0	130.0	1330.7

4.7.8 SÓLIDOS SEDIMENTABLES

Respecto a los Sólidos Sedimentables se encontró para el grupo No. 1 una curva de distribución completa dentro del rango y bastante simétrica lo que indica que la mayoría de granjas donde no se tiene implementado ningún sistema de tratamiento se genera un agua residual con una concentra-

ción promedio de sólidos sedimentables de 242,4 mL/L. Igual que los parámetros anteriores, en la medida que los sistemas de tratamiento son mas complejos, la variabilidad de la carga efluente es menor.



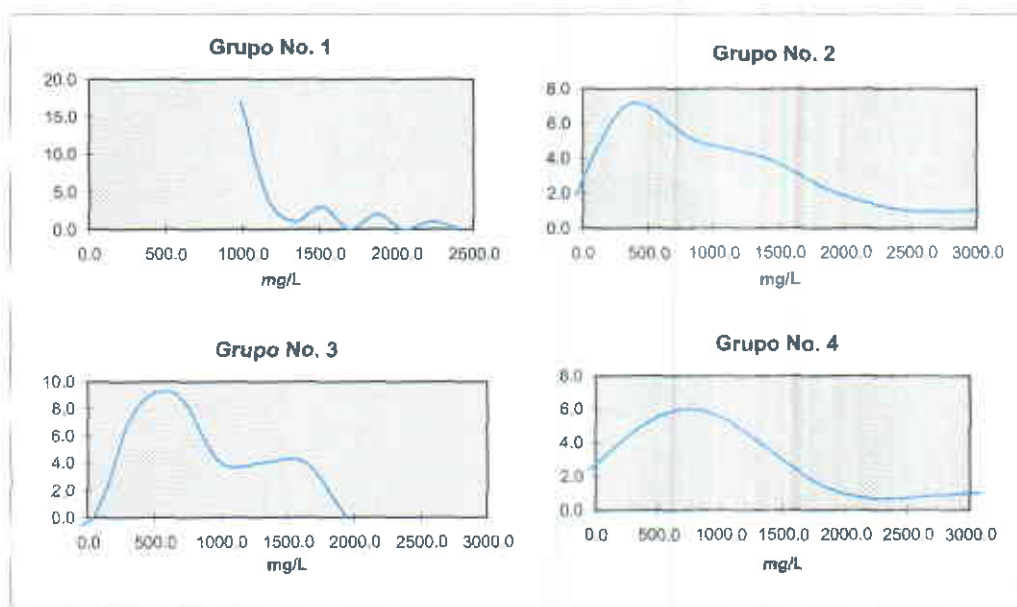
Gráfica 40. Curva de distribución de frecuencia para los Ssed

PARÁMETRO: Ssed				
Grupo	Media Arit.	V/r máximo	V/r mínimo	Desviación estándar
1	242.4	1000.0	5.0	311.1
2	29.0	133.0	0.5	39.9
3	25.7	340.0	0.1	65.2
4	18.8	87	0.5	28.8

4.7.9 NITRÓGENO TOTAL KJENDAHL

La dispersión del nitrógeno total que se observa en las gráficas, muestra claramente la complejidad del ciclo del nitrógeno. Estas variaciones pueden deberse a múltiples factores relacionados con: tipo de alimentación; raza y actividad del animal (grupo etéreo); condiciones ambientales tanto en el momento de generación de las excretas como en el momento de la toma de las muestras, debi-

do a que variaciones de la temperatura y la humedad, hacen que parte del nitrógeno se pierda bajo la forma amoniacal; pH; sistema de tratamiento (confinado o abierto); sistema de almacenamiento (confinado, abierto o cerrado); adición o no de cal para control de olores; utilización de productos químicos para atrapar el amoníaco, entre otros factores.



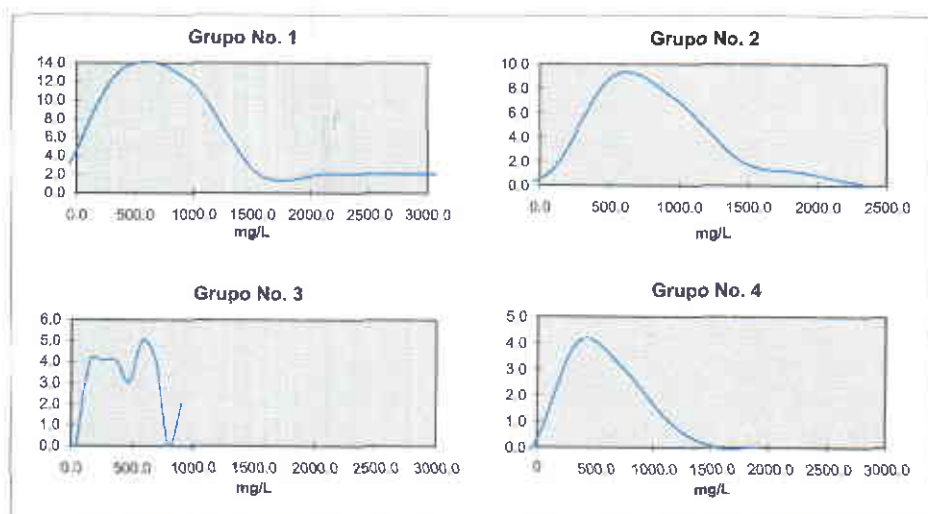
Gráfica 41. Curva de distribución de frecuencia para el NTK

PARÁMETRO: NTK				
Grupo	Media Arit.	V/r máximo	V/r mínimo	Desviación estándar
1	1689.0	7658.2	151.6	1914.8
2	848.6	2923.5	18.9	769.3
3	670.8	1612.0	87.7	428.7
4	704.0	2273.6	41.6	801.9

4.7.10 NITRÓGENO AMONICAL

En análisis de los resultados obtenidos con el nitrógeno total, es válido para el comportamiento del nitrógeno amoniacal. De otra parte, en las gráficas de los grupos 1, 2 y 4 se pueden obser-

var largas colas lo que podría indicar que las bajas concentraciones de nitrógeno amoniacal son debidas a pérdidas hacia la atmósfera, por tratarse de sistemas de tratamiento abiertos.



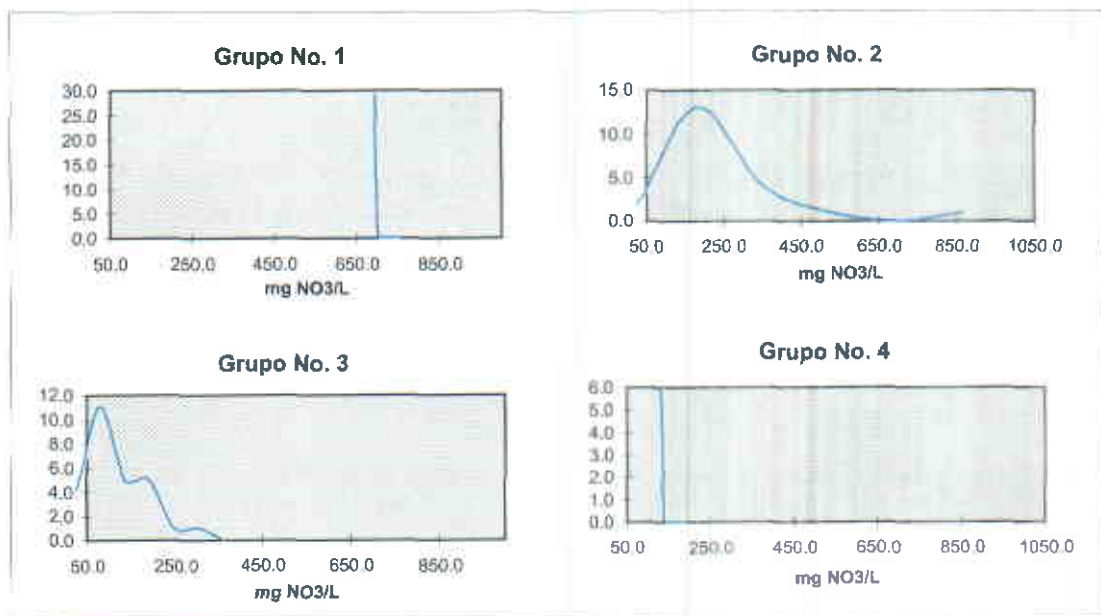
Gráfica 42. Curva de distribución de frecuencia para el N-NH₄

PARÁMETRO: NH ₄				
Grupo	Media Arit.	V/r máximo	V/r mínimo	Desviación estándar
1	955.5	5255.8	79.3	1108.3
2	526.0	1774.2	12.6	432.5
3	471.0	1041.2	53.9	293.0
4	344.5	994.7	11.6	313.1

4.7.11 NITRATOS

El grupo No. 1 muestra que en la mayoría de las granjas estudiadas no tienen sistema de tratamiento, la concentración de nitratos es alta y no se presenta variabilidad significativa entre una y otra granja. En la medida en que se implantaron sistemas de tratamiento, los nitratos son afectados y empiezan a hacer parte de la compleja dinámica del ciclo del nitrógeno; por ejemplo en el grupo 3

donde predominan los fermentadores anaeróbicos, por tener estos un ambiente reducido (bajas concentraciones de oxígeno) se tiene la forma N-nitritos con lo cual al analizar sus efluentes, la concentración de nitratos es baja. En la medida que el efluente es almacenado, en contacto con el aire los nitritos se transforman químicamente en nitratos.



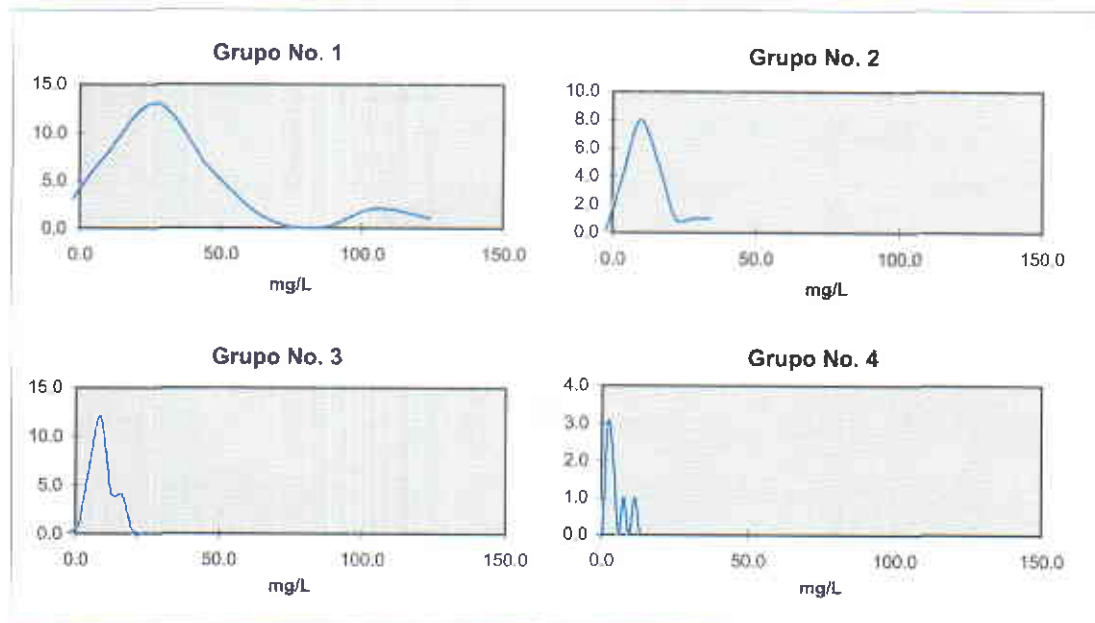
Gráfica 43. Curva de distribución de frecuencia para el NO3

PARÁMETRO: NO3				
Grupo	Media Arit.	V/r máximo	V/r mínimo	Desviación estándar
1	722.6	5757.4	38.9	1401.5
2	181.4	763.8	7.1	171.5
3	139.3	426.6	14.8	165.9
4	162.7	500.0	57.8	146.2

4.7.12 FÓSFORO

Los resultados obtenidos con el fósforo muestran una reducción en las concentraciones en los grupos 2, 3 y 4; esta disminución puede deberse a que este elemento forma parte del materia sólido

el cual es removido en los sistemas de sedimentación y/o cribado. También se podría pensar que parte del fósforo es acumulado dentro del sistema.



Gráfica 44. Curva de distribución de frecuencia para el P

PARÁMETRO: P				
Grupo	Media Arit.	V/r máximo	V/r mínimo	Desviación estándar
1	45.9	250.6	1.7	65.1
2	9.0	32.3	0.2	8.5
3	8.3	52.9	0.3	9.4
4	5.1	17.7	0.8	5.9

4.8 CARGAS VERTIDAS

A continuación se presenta un resumen con los datos mas representativos de los valores encontrados en las descargas de aguas residuales realizadas por las granjas porcícolas estudiadas. De las 91 granjas visitadas solo en 35 (38,5%) se tiene un registro de la cantidad de agua utilizada para las operaciones de limpieza de los corrales, así como el agua utilizada para el consumo de los animales. De acuerdo con los resultados obteni-

dos y con el fin de presentar un análisis estadístico, se omitieron 4 granjas por estar fuera de una tendencia o margen de error razonable, con relación al consumo de agua.

En la siguiente tabla se presentan los rangos obtenidos para las descargas efectuadas en las granjas de acuerdo al grupo, según los criterios establecidos en el apartado anterior.

Tabla 12. Valores de las descargas para los parámetros físico-químicos evaluados y según los grupos etéreos estudiados

GRUPO	PARÁMETRO: DQO (Kg. O2/día)			
	Promedio	Desv. Est.	V/r máximo	V/r mínimo
1	53.9	79.8	239.5	1.7
2	26.7	26.9	89.7	3.0
3	1.9	2.5	5.8	0.003
4	36.0	28.1	74.3	0.02

GRUPO	PARÁMETRO: DBO (Kg. O2/día)			
	Promedio	Desv. Est.	V/r máximo	V/r mínimo
1	41.7	65.0	195.2	1.0
2	20.0	20.2	66.9	2.0
3	1.4	1.9	5.6	0.013
4	20.3	13.6	38.0	1.2

GRUPO	PARÁMETRO: ST (Kg./día)			
	Promedio	Desv. Est.	V/r máximo	V/r mínimo
1	52.6	79.6	227.5	1.3
2	24.2	34.3	113.0	1.5
3	2.5	2.8	7.0	0.08
4	51.9	51.1	125.2	2.9

GRUPO	PARÁMETRO: SV (Kg./día)			
	Promedio	Desv. Est.	V/r máximo	V/r mínimo
1	37.4	62.6	183.2	0.9
2	16.5	24.0	79.0	0.9
3	1.3	1.5	3.5	0.02
4	22.0	18.6	45.9	1.3

GRUPO	PARÁMETRO: SST (Kg./día)			
	Promedio	Desv. Est.	V/r máximo	V/r mínimo
1	29.8	49.3	143.4	0.6
2	12.9	19.5	63.8	0.9
3	1.2	1.6	4.7	0.05
4	14.2	10.1	28.9	1.2

GRUPO	PARÁMETRO: SSV (Kg./día)			
	Promedio	Desv. Est.	V/r máximo	V/r mínimo
1	24.4	40.5	118.3	0.5
2	10.5	15.4	50.7	0.6
3	0.8	1.1	2.7	0.02
4	9.2	5.3	13.8	0.9

GRUPO	Promedio	PARÁMETRO: Ssed (L/día)		
		Desv. Est.	V/r máximo	V/r mínimo
1	0.6	1.2	3.5	0.02
2	0.1	0.2	0.6	0.01
3	0.01	0.02	0.06	0.0001
4	0.1	0.1	0.3	0.014

GRUPO	Promedio	PARÁMETRO: NTK (Kg./día)		
		Desv. Est.	V/r máximo	V/r mínimo
1	2.9	2.6	6.1	0.2
2	5.1	6.5	20.0	0.07
3	0.4	0.5	1.5	0.009
4	3.5	2.1	5.6	0.3

GRUPO	Promedio	PARÁMETRO: NH4 (Kg./día)		
		Desv. Est.	V/r máximo	V/r mínimo
1	1.8	1.9	4.24	0.06
2	3.0	3.6	11.7	0.05
3	0.3	0.3	1.0	0.006
4	1.8	1.5	4.2	0.2

GRUPO	Promedio	PARÁMETRO: P (Kg./día)		
		Desv. Est.	V/r máximo	V/r mínimo
1	0.1	0.1	0.2	0.005
2	0.1	0.1	0.15	0.001
3	0.01	0.01	0.02	0.0003
4	0.1	0.05	0.1	0.004

GRUPO	Promedio	PARÁMETRO: NO3 (Kg./día)		
		Desv. Est.	V/r máximo	V/r mínimo
1	1.1	1.5	4.6	0.09
2	1.4	3.4	10.4	0.07
3	0.1	0.2	0.6	0.001
4	3.7	4.1	10.1	0.13

Como se puede observar en las tablas anteriores las descargas de las granjas del grupo No. 4 son altas, aunque las concentraciones para los parámetros evaluados son bajas; esto es debido a los grandes volúmenes de agua utilizada en las operaciones de aseo de los corrales.

Para analizar la variación en el consumo de agua para las operaciones de lavado, expresada como litros de agua por animal-día y litros de agua por cada 100 Kg de peso vivo-día, se presentan a continuación los datos obtenidos en la encuesta aplicada a las granjas estudiadas y en la información extraída de la literatura consultada.

Tabla 28. Peso promedio por grupo etéreo (Olaya, J.M., 1996)

FASE ETAREA	Peso (Kg)
Lechón lactante	4.5
Hembra lactante, Hembra gestante o Hembra desteta	220
Reemplazos	140
Precebo	12.5
Levante	34
Engorde	70
Reproductores	280

Para el cálculo del consumo de agua por animal en las operaciones de limpieza se dividen los valores de consumo de agua por granja entre el número de animales. Para calcular el consumo por cada 100 kg de peso vivo se divide el consumo

de agua de la granja entre el peso promedio de la misma. Este se calcula a partir del número de animales de acuerdo a la distribución etérea obtenida de la encuesta aplicada y los valores de peso promedio para cada fase consignados en la tabla 28.

Tabla 29. Consumo de agua en las operaciones de limpieza. Granjas sin sistema de tratamiento (grupo No. 1)

Consumo de agua por granja (m ³ /día)	No. de animales por granja	Consumo por animal (l/día)	Consumo por cada 100 kg de peso vivo (l/día)
0.2	1054	0.19	0.32
0.72	83	8.67	10.87
0.8	242	3.31	4.84
0.3	89	3.37	6.54
55.83	1016	54.95	98.17
8.01	540	14.83	10.77
7.04	450	15.64	52.05
0.1	16	6.25	6.71
4.0	300	13.33	21.65

Tabla 30. Análisis estadístico del consumo de agua (grupo No. 1)

Grupo No. 1	Litros /Animal	Litros /100 kg Peso
Promedio	13.39	23.55
Desv. Estándar	16.62	31.96
Máximo	54.95	98.17
Mínimo	0.19	0.32

Tabla 31. Consumo de agua en las operaciones de limpieza. Granjas con tratamiento primario (grupo No. 2)

Consumo de agua por granja (m ³ /día)	No. de animales por granja	Consumo por animal (l/día)	Consumo por cada 100 kg de peso vivo (l/día)
1.2	2053	0.58	1.09
2.34	336	6.96	12.18
3.0	222	13.51	12.18
1.04	22	47.27	104.0
10.0	465	21.51	40.26
4.9	342	14.33	21.15
4.0	726	5.51	10.71
28.0	2040	13.73	21.95
28.0	1046	26.77	49.09

Tabla 32. Análisis estadístico del consumo de agua (grupo No. 2)

Grupo No. 2	Litros /Animal	Litros /100 kg Peso
Promedio	16.69	30.29
Desv. Estándar	13.98	31.49
Máximo	47.27	104
Mínimo	0.58	1.09

Tabla 33. Consumo de agua en las operaciones de limpieza. Granjas con tratamiento secundario (grupo No. 3)

Consumo de agua por granja (m ³ /día)	No. de animales por granja	Consumo por animal (l/día)	Consumo por cada 100 kg de peso vivo (l/día)
1.67	1660	1.01	1.55
0.7	60	11.67	22.44
1.0	83	12.05	18.40
0.37	25	14.80	33.94
0.10	22	4.55	18.87
0.28	11	25.45	45.71
0.10	11	9.09	20.81
0.21	71	2.96	3.79
3.0	300	10.0	19.79
0.2	114	1.75	2.48
5.0	814	6.14	11.52
5.81	577	10.07	18.35

Tabla 34. Análisis estadístico del consumo de agua (grupo No. 3)

Grupo No. 3	Litros /Animal	Litros /100 kg Peso
Promedio	9.13	18.14
Desv. Estándar	6.77	12.82
Máximo	25.45	45.71
Mínimo	1.01	1.55

Tabla 35. Consumo de agua en las operaciones de limpieza. Granjas con tratamiento combinado (grupo No. 4)

Consumo de agua por granja (m ³ /día)	No. de animales por granja	Consumo por animal (l/día)	Consumo por cada 100 kg de peso vivo (l/día)
5.0	790	6.33	11.07
3.09	183	16.89	39.22
89.04	528	168.64	243.58
1.0	270	3.70	6.54
90	7523	11.96	24.72

Tabla 36. Análisis estadístico del consumo de agua (Grupo No. 4)

Grupo No. 4	Litros /Animal	Litros /100 kg Peso
Promedio	41.50	65.03
Desv. Estándar	71.25	100.63
Máximo	168.64	243.58
Mínimo	3.7	6.54

4.9 ANALISIS DE LAS EFICIENCIAS DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO

En el estudio realizado se encontraron diferentes alternativas de tratamiento, algunas de las cuales están implementadas en varias granjas, destacándose las siguientes:

- Sedimentación.
- Cribado (Se incluye la Criba inclinada con tornillo *sin fin*).
- Fermentadores Anaeróbicos (biodigestores Tipo Taiwan, biodigestores de campana móvil y fija y tanques de fermentación).
- Sistemas integrados de sedimentación y digestión Anaerobia.
- Sistemas integrados de biodigestor tipo Taiwan y laguna de oxidación.

Las eficiencias de remoción fueron calculadas para todos los parámetros empleando la siguiente ecuación:

$$ER = \frac{(Conc. \text{ ent} - Conc. \text{ sal})}{Conc. \text{ ent}}$$

Donde:

ER : Eficiencia de Remoción.

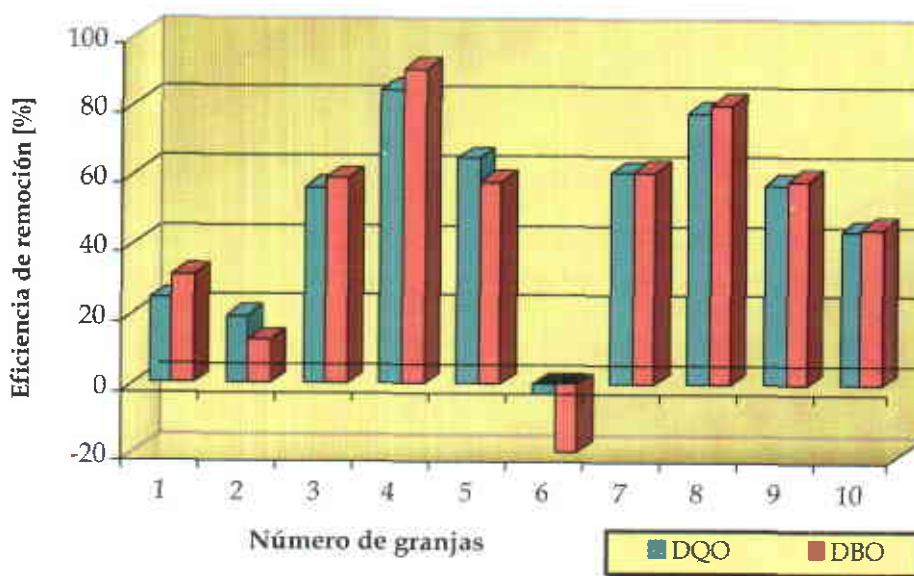
Conc. ent.: Concentración de entrada al sistema de tratamiento.

Conc. sal : Concentración de salida del sistema de tratamiento

A continuación se presentan los resultados de las eficiencias de remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Sólidos Totales (S.T), Sólidos Volátiles (S.V), Sólidos Suspendidos Totales S.S.T, Sólidos Suspendidos Volátiles (S.S.V) y Sólidos Sedimentables (S. Sed) obtenidos de los análisis realizados a las muestras tomadas a la entrada y salida de los diferentes sistemas de tratamiento:

4.9.1 SEDIMENTACION

Los datos obtenidos de eficiencias de remoción de DQO y DBO se presentan en la gráfica 45. En esta gráfica se observa una granja que presenta eficiencias de remoción negativas; es decir, se encontró una mayor concentración de la DQO y la DBO en el efluente del sistema con respecto al afluente.



Gráfica 45. Eficiencias de remoción de la DQO y la DBO en las granjas donde la sedimentación es el único sistema de tratamiento

La granja número 6 posee un canal de sedimentación, al cual no se le ha realizado un mantenimiento adecuado con relación a la remoción de sólidos sedimentados a través del tiempo; esto ha hecho que el volumen del sistema se reduzca y que cada vez que se alimenta se arrastra parte de los sólidos que se encuentran acumulados.

La granja identificada con el número 2, presenta unas eficiencias de remoción bajas, posiblemente

debido a la utilización de grandes volúmenes de agua en las operaciones de limpieza que han hecho que el sedimentador quede subdimensionado para los caudales generados.

En la tabla 37 se presentan los valores de la DQO y la DBO del afluente y efluente a partir de los cuales se calculó la eficiencia de remoción para cada granja.

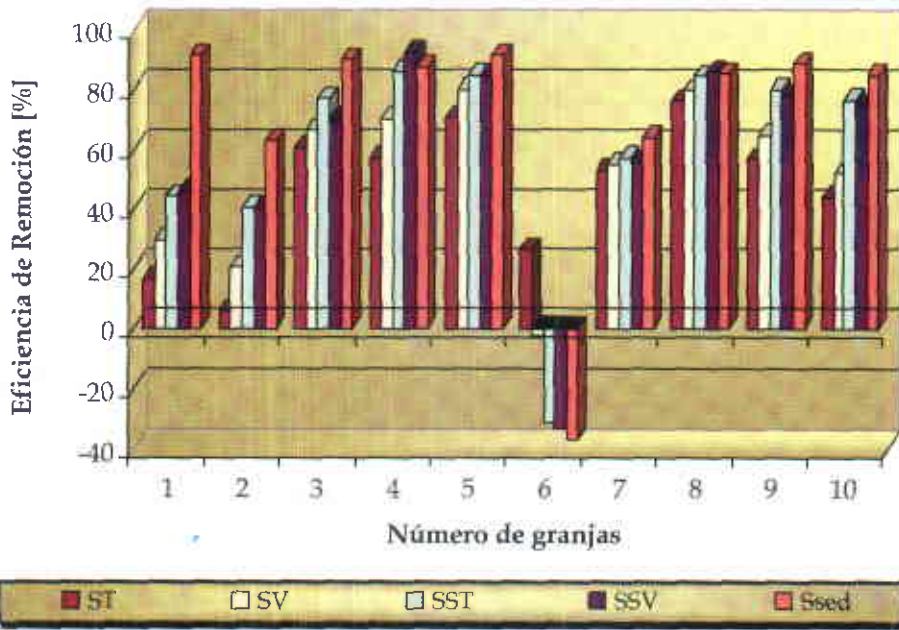
Tabla 37. Ubicación de la granja y valores de la DQO y la DBO de entrada y salida al Sedimentador

Granja	Ubicación Departamento	DQO [mg O ₂ / l]		DBO [mg O ₂ / l]	
		Entrada	Salida	Entrada	Salida
1	Caldas	5307	4020	4067.1	2799.1
2	Boyáca	4160	3360	3217	2803.4
3	Santander	10512	4560	6804.9	3151
4	Meta	3674	552	2928	272
5	Cundinamarca	4800	1680	3558.5	1059.2
6	Cundinamarca	6552	6728	4624.1	5513
7	Cundinamarca	46642.8	18238	33867.2	13203.4
8	Cundinamarca	14928.5	3204.4	12466.4	2391.2
9	Cundinamarca	58721.2	24539	41517.7	16896.3
10	Valle	4898	2719	3254.8	1778.8

De la tabla 37, se observa que la granja 4 logra reducir en forma apreciable la concentración de la DQO y la DBO solo con la sedimentación, mientras que para las otras granjas los valores de estos parámetros en el efluente son altos haciendo necesario un tratamiento posterior con el fin de disminuir el posible efecto contaminante.

En la gráfica 46, se presentan las diferentes eficiencias de remoción de S.T, S.V., S.S.T, S.S.V y de S. Sed. Se observa que en la mayoría de las

granjas donde los sedimentadores trabajan adecuadamente, se alcanzan remociones superiores al 80 % en los S. Sed. y valores similares para los S.T y S. V. lo que coincide con el criterio presentado en la literatura el cual afirma que los sistemas de separación sólido-líquido por gravedad funcionan adecuadamente cuando se logran remociones superiores al 50 % en los sólidos totales (NPPC, 1996). La granja 6 presenta eficiencias de remoción negativas en algunos de los parámetros considerados, esto confirma la operación inadecuada del canal de sedimentación.



Gráfica 46. Eficiencias de remoción de los S.T., S.V., S.S.T, S.S.V y de S. Sed. en las granjas donde la sedimentación es el único sistema de tratamiento

En la tabla 38, se presentan los valores de los S.T., S.V., S.S.T, S.S.V. y de S. Sed. en el efluen-

te del sistema de sedimentación de las granjas evaluadas.

Tabla 38. S.T., S.V., S.S.T, S.S.V. y de S. Sed. en el efluente del sistema de sedimentación

Granja	S.T. [mg/l]	S.V. [mg/l]	S.S.T. [mg/l]	S.S.V. [mg/l]	S.Sed. [ml/l]
1	1790	1090	1034	810.3	3
2	2690	1830	1050	910	5
3	3600	2000	1210	1000	7
4	1460	800	320	140	2.5
5	6080	2980	2400	1850	22
6	4230	3250	2780	2420	58
7	14738.9	9794.4	12030.3	9424.2	125
8	4036.7	2820	2280	1810	23
9	19283.3	10260	5700	4816.7	800
10	1810	880	450	370	1.5

Las granjas 4 y 10 presentan valores bajos de la concentración de sólidos en el efluente, el resto de granjas muestran valores que hacen necesario complementar la sedimentación con otro sistema de tratamiento con el fin de disminuir la posible carga contaminante.

En la tabla 39, se presentan los valores de NTK y N-NH3 del afluente y efluente a partir de los cuales se calculó la eficiencia de remoción para cada granja.

Tabla 39. Ubicación de la granja y valores de NTK y N-NH3 de entrada y salida al Sedimentador y Eficiencias de Remoción (E.R)

Ubicación Departamento	NTK			N-NH3		
	Entrada [mg/L]	Salida [mg /L]	E.R	Entrada [mg / L]	Salida [mg / L]	E.R
Caldas	315.3	221	29.9	232.2	126.1	45.7
Boyacá	950.1	974.8	-2.6	171.5	343	-100
Santander	2106.1	1074.1	49.2	1074.4	554.4	48.4
Meta	972	823.2	-10.5	369.5	677.3	-83.3
Cundinamarca	3188.1	1635.5	48.7	762.6	637.5	16.4
Cundinamarca	456.5	1168.3	-155.93	12.3	1031.3	-230.2
Cundinamarca	2811.4	1678.4	40.3	1637.1	1132.9	30.8
Cundinamarca	1907.2	713.3	62.6	762.9	419.6	45
Cundinamarca	3986	2200.3	44.8	1928.5	1774.2	8
Valle	504.8	360.4	28.6	374.8	329.1	12.2

4.9.2 CRIBADO

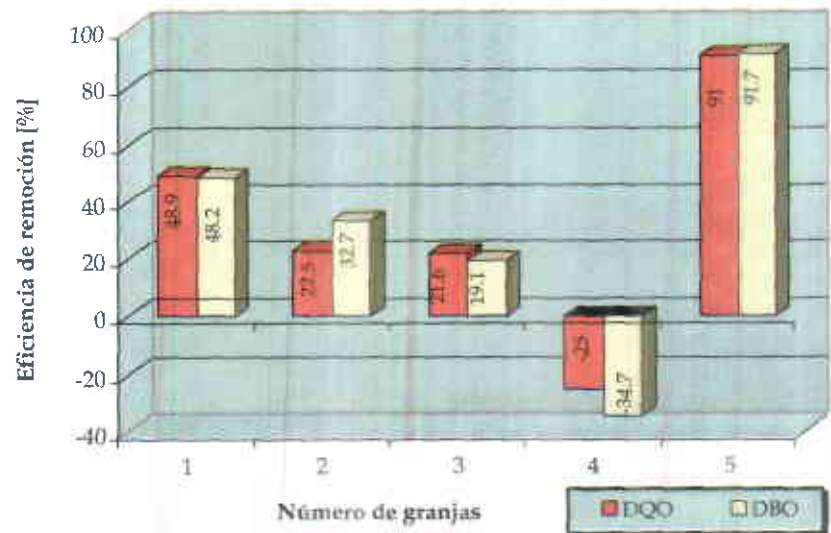
En este apartado se presentan los resultados de las eficiencias de remoción de la DQO, DBO y Sólidos, logradas en las granjas que utilizan como sistema de tratamiento el cribado y la criba inclinada con tornillo sin fin.

En la gráfica 47 se presentan las eficiencias de remoción de la DQO y la DBO en las cinco granjas que tienen como único sistema de tratamiento al cribado; las cuatro primeras granjas utilizan el cribado para la remoción de partículas de tamaño mediano y la quinta granja tiene implementado un

sistema de criba inclinada con tornillo sin fin.

En las tres primeras granjas se alcanzan eficiencias de remoción superiores al 20 %; en la cuarta granja se presentan eficiencias negativas debido a la falta de limpieza de la criba, y a que en el momento del muestreo las aguas de lavado arrastraron parte de los sólidos retenidos razón por la cual se presentó un aumento en la concentración de carga orgánica del efluente. En la granja 5 se observan remociones alrededor del 90 % en la DQO y la DBO.

Gráfica 47. Eficiencias de remoción de la DQO y la DBO en las granjas con cribado o criba inclinada con tornillo sin fin



En la tabla 40 se consignan los datos de localización de las granjas y los valores de la DQO y la DBO del afluente y efluente del sistema evaluado.

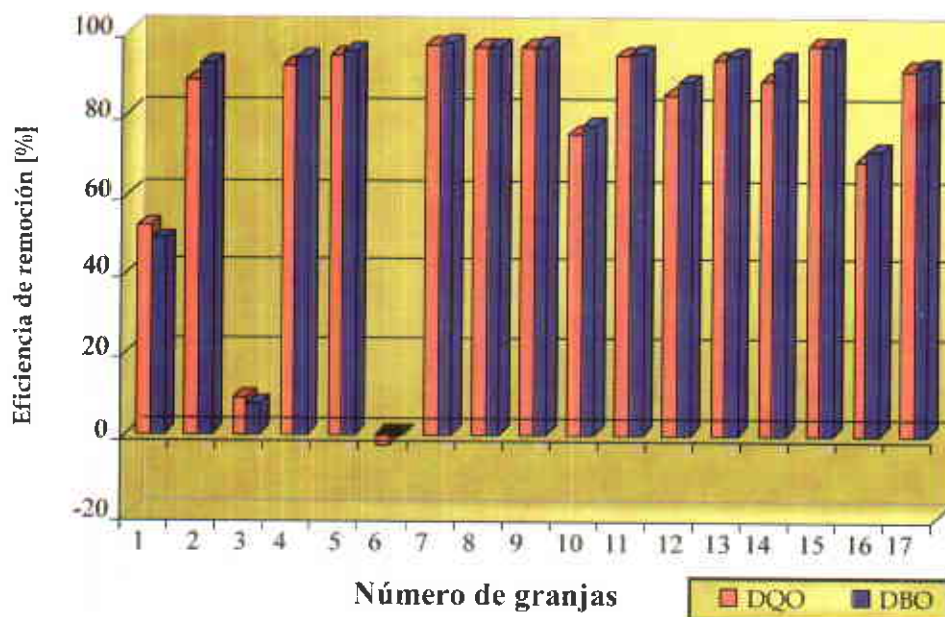
Tabla 40. Ubicación de la granja y valores de la DQO y la DBO de entrada y salida del sistema de tratamiento (Criba o Criba Inclinada con tornillo sinfín)

Granja	Ubicación Departamento	DQO [mg O ₂ / l]		DBO [mg O ₂ / l]	
		Entrada	Salida	Entrada	Salida
1	Risaralda	7830	4001	5608.7	2938.5
2	Boyacá	8160	6320	6707.7	4514.5
3	Santander	6120	4800	4489.7	3632.1
4	Santander	5184	6480	3359.4	4525.1
5	Valle	43459	3907	32920.5	2716.6

En la gráfica 48 se presentan los resultados obtenidos de las eficiencias de remoción de Sólidos Totales, Sólidos volátiles, Sólidos Suspendidos Totales, Sólidos Volátiles y Sólidos Sedimentables. Se observa que la granja que posee la criba inclinada con tornillo sinfín (granja 5) presenta remociones superiores al 80 % en todos los parámetros,

lo que comprueba que es una buena alternativa de tratamiento.

Se observa igualmente que la granja número 4 presenta eficiencias de remoción negativas lo que corrobora la falta de mantenimiento y el manejo inadecuado de la criba.



Gráfica 48. Eficiencias de remoción de los S.T., S.V., S.S.T., S.S.V. y S. Sed. en las granjas con cribado o criba inclinada con tornillo sinfín

Para el NTK y N-NH3 se encontraron los siguientes valores consignados en la tabla 41.

Tabla 41. Valores de NTK y N-NH3 de entrada, salida y Eficiencias de Remoción (E.R) del sistema de tratamiento (Criba o Criba Inclinada con tornillo sinfín)

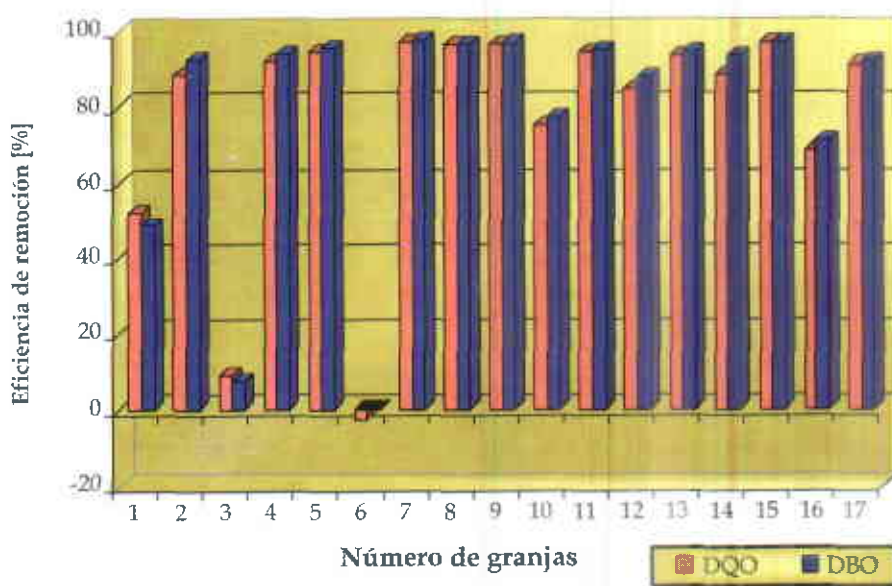
Ubicación Departamento	NTK			N-NH3		
	Entrada [mg/L]	Salida [mg /L]	E.R	Entrada [mg / L]	Salida [mg / L]	E.R
Risaralda	652.9	630.7	3.4	374.7	571.4	-52.5
Boyáca	238.2	188.9	20.7	240.1	665.4	-177.1
Santander	1299.3	2923.5	-125	606.3	693	-14.3
Santander	2149.4	1066.1	50.4	1772.8	796	55.1
Valle	4159.0	324.4	92.2	692.9	264	61.9

4.9.3 DIGESTION ANAEROBIA

Del total de las granjas que tienen a la digestión anaerobia como único sistema de tratamiento, se encontró que el 77.3 % utiliza biodigestores Tipo Taiwan, el 9.1% digestores de campana fija, un 4.5 % digestores de campana móvil y un 9.1 % de las granjas utilizan tanques de fermentación, llamados así por que son sistemas de almacenamiento de estiércol cubiertos y con altos Tiempos de Retención Hidráulicos (TRH) que favorecen la digestión anaerobia.

En la gráfica 49, se presentan las eficiencias de remoción de la DQO y la DBO alcanzadas en los

biodigestores Tipo Taiwan. De esta gráfica se observa que la tercera granja presenta unas eficiencias de remoción inferiores al 10 %, debido posiblemente a los altos volúmenes de agua utilizada en las operaciones de limpieza de la granja; esto hace que el caudal de alimentación sea muy elevado, de tal manera que el sistema de tratamiento queda subdimensionado (TRH bajos). Al emplear altos caudales de alimentación superiores al de diseño, se puede producir el lavado de parte de los microorganismos que participan en la digestión anaerobia, lo que ocasiona una disminución en la remoción de material orgánico.



Gráfica 49. Eficiencias de remoción de la DQO y la DBO con biodigestores tipo Taiwan

Con relación a la granja No. 6 se observa que definitivamente el biodigestor no está trabajando; esta situación puede deberse a múltiples factores entre los cuales se destacan, sobrecargas, efluentes demasiado diluidos, inhibidores de la fermentación, sistema subdimensionado, lavado del biodigestor, fugas que ocasionan entrada de aire (O₂) al sistema, entre otros. En términos generales la mayoría de los biodigestores tipo Taiwan encontrados en el estudio presentan eficiencias de remoción de la DQO y la DBO del orden del 60 al 95 %.

Es necesario tener en cuenta que las muestras se tomaron de manera puntual, con lo cual hay mayor dependencia de las condiciones de operación de la granja (limpieza, caudales etc.) en el

momento de la toma; esto significa que en un momento dado los resultados pueden arrojar variaciones en los valores de remoción de carga orgánica.

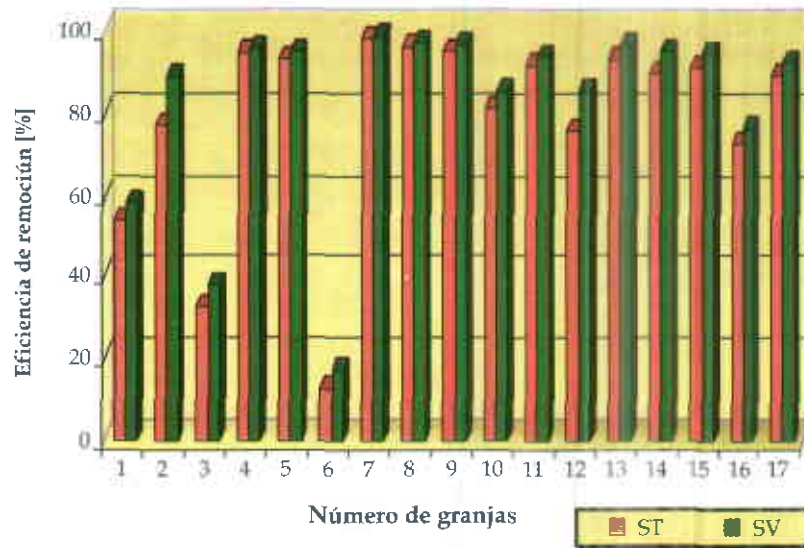
En la tabla 42, se presenta la localización de las granjas que poseen biodigestores tipo Taiwan como sistema de tratamiento junto con los valores de la DQO y la DBO del afluente y efluente del sistema. Observándose que las granjas 14 y 15 presentan valores bajos de concentración de la DQO y la DBO en el efluente; las otras granjas presentan concentraciones que hacen pensar en un sistema adicional al biodigestor tipo Taiwan para lograr una mayor reducción en la carga orgánica del agua residual.

Tabla 42. Ubicación de la granja y valores de la DQO y la DBO de entrada y salida, para las granjas con biodigestores tipo Taiwan

Granja	Ubicación Departamento	DQO [mg O ₂ / l]		DBO [mg O ₂ / l]	
		Entrada	Salida	Entrada	Salida
1	Risaralda	13267	6301.8	9725.5	4989.1
2	Boyaca	20666	2400	17484.4	1349.2
3	Valle	2059.2	1872	1485	1389.6
4	Valle	68769	5614	52110.7	3139.2
5	Valle	65593	3547	44412.1	2072.1
6	Valle	6123	6277	4329.2	4338.3
7	valle	55689	1588	39651.3	893.4
8	Cundinamarca	58104	2065.9	46718.1	1285.1
9	Cundinamarca	55547	1943	40603	1321.6
10	Cundinamarca	7156	1767	5697.4	1277
11	Cundinamarca	179653	9871	140851	6877.5
12	Cundinamarca	6726	1024	4801.3	585.3
13	Cundinamarca	8205	523.5	4893.4	262.8
14	Cundinamarca	3514	411.4	2002.8	127.9
15	Cundinamarca	23609	722.2	16200.4	460.9
16	Cundinamarca	17116	5400	12958.3	3738.5
17	Cundinamarca	40864	3587	32546.9	2570.9

En la gráfica 50 se presentan las eficiencias de remoción de los Sólidos Totales y Volátiles, observándose que en la mayoría de los efluentes de los digestores se alcanzan remociones superiores al 70 %. Las granjas 3 y 6 presentan bajas

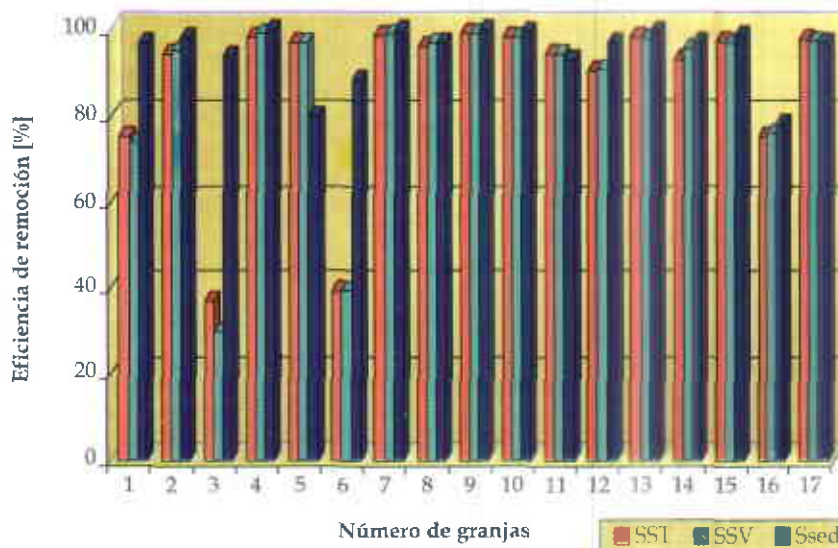
eficiencias de remoción, posiblemente debido a la utilización de altos caudales de entrada que ocasionan el lavado de parte de los lodos acumulados en el sistema.



Gráfica 50. Eficiencias de remoción de S.T. y S.V. con biodigestores tipo Taiwan

La gráfica 51 presenta las eficiencias de remoción de S.S.V, S.S.T y S. Sed., observándose efi-

ciencias de remoción para dichos parámetros superiores al 80 % en la mayoría de las granjas.



Gráfica 51. Eficiencias de remoción de S.S.T., S.S.V. y S. Sed. con biodigestores tipo Taiwan

De igual forma, las remociones de S.S.V. y S.S.T. en los digestores de las granjas 3 y 6 son bajas; es importante destacar como la remoción de sólidos sedimentables en estas granjas es superior al 85 %, lo que confirma que dichos sistemas se están desempeñando mejor como sedimentado-

res que como biodigestores anaerobios.

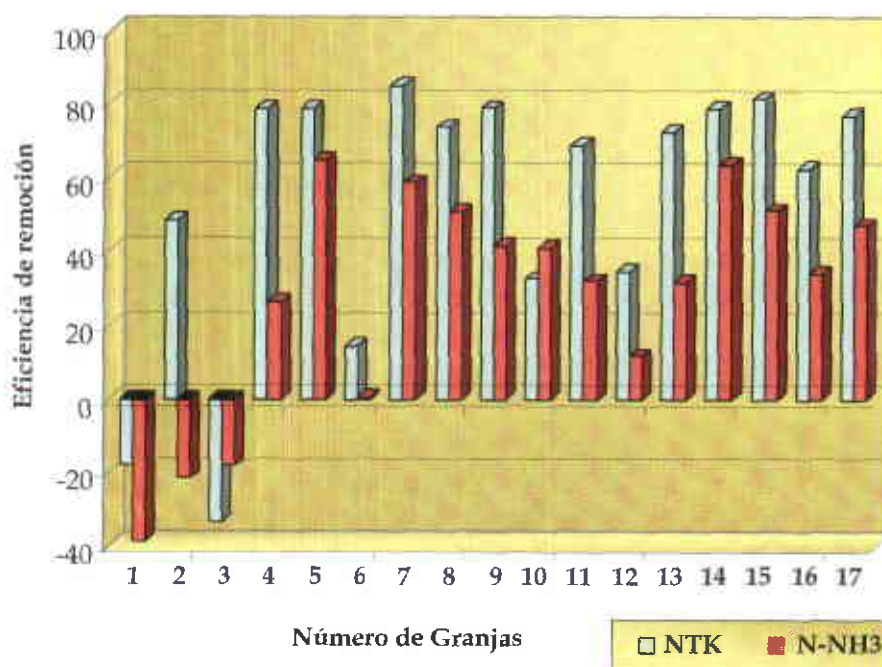
En la tabla 43 se presentan los valores de las concentración de S.T., S.V., S.S.T., S.S.V y S. Sed. de los efluentes de las granjas con biodigestores tipo Taiwan como único sistema de tratamiento.

Tabla 43. S.T., S.V., S.S.T, S.S.V. y de S. Sed. en el efluente de los biodigestores tipo Taiwan

Granja	S.T. [mg / l]	S.V. [mg/l]	S.S.T. [mg/l]	S.S.V. [mg/l]	S.Sed. [ml/l]
1	5835	3565	2460	2000	5.5
2	4160	1620	830	610	7
3	1390	800	550	500	0.5
4	5345	3335	1780	880	2
5	4470	2215	2050	1380	20
6	5795	3245	2195	1805	3.5
7	2447	1133	370	245	< 0.5
8	4180	2300	1960	1360	30
9	4260	2290	790	650	3
10	1780	1010	141.8	124.5	1
11	9441	5473	4940	4020	70
12	2313	909.1	727.3	545.5	5.5
13	1194	326.5	289	211.1	2
14	836.9	206.5	505.3	189.5	3.5
15	1412	556.7	386.4	340.9	3.5
16	6219	4000	4200	3114	110
17	2900	1560	670	600	12.5

En la gráfica 52 se presentan las eficiencias de remoción de los Nitrógeno total Kjendahl y del

Nitrógeno Amoniaco encontradas en los biodigestores tipo Taiwan.



Gráfica 52. Eficiencias de remoción de NTK y N-NH3 con biodigestores tipo Taiwan

En la tabla 44 se presentan los valores de las concentración de NTK y N-NH₃ de entrada y salida de los biodigestores tipo Taiwan, junto con las eficiencias de remoción encontradas

Tabla 44. Valores de NTK y N-NH₃ de entrada y salida para las granjas con biodigestores tipo Taiwan

Ubicación Departamento	NTK			N-NH ₃		
	Entrada [mg/L]	Salida [mg /L]	E.R	Entrada [mg / L]	Salida [mg / L]	E.R
Risaralda	1134.6	1340	-18.1	648.7	901	-38.9
Boyaca	1201.2	617.4	48.6	400.2	487.1	-21.7
Valle	352.9	470.4	-33.3	188.7	223	-18.2
Valle	3185.2	688	78.4	769.1	565.3	26.5
Valle	2933.5	630.7	78.5	1319.7	468.5	64.5
Valle	1261.4	1077.2	14.6	1045.4	1041.2	0.4
valle	3597.3	536	85.1	1201.9	497.6	58.6
Cundinamarca	3331.8	879.6	73.6	1331.9	655.3	50.8
Cundinamarca	4787.7	1015	78.8	1096.4	639.2	41.7
Cundinamarca	1620.2	1092	32.6	537.2	316.4	41.1
Cundinamarca	3472.8	1087	68.7	1598.5	1087	32
Cundinamarca	626.6	409.8	34.6	353.4	311.7	11.8
Cundinamarca	944.0	261.5	72.3	350.2	238.5	31.9
Cundinamarca	411.7	87.7	78.7	159.4	58.5	63.3
Cundinamarca	1167.2	220.6	81.1	365.6	178.8	51.1
Cundinamarca	1212.3	454.6	62.5	609.2	402.7	33.9
Cundinamarca	1482.5	346.9	76.6	595.1	315.4	47

En la tabla 45 se presentan las eficiencias de remoción alcanzadas en los digestores de campana fija, campana móvil y tanques de fermentación. Se observa que el sistema de campana móvil presenta un desempeño eficiente, manifestado en las altas remociones los parámetros evaluados.

El primer biodigestor de campana fija presenta remociones de la DQO y la DBO alrededor del 60 %, y remociones de S.T., S.V., S.S.T., S.S.V. que oscilan entre el 30 y el 60 %, lo que indica que el

sistema está operando en una forma adecuada. Así mismo se observa una alta remoción de sólidos sedimentables, lo que indica que el sistema también hace las veces de sedimentador.

El otro digestor de campana fija no está operando correctamente. El biodigestor carece de un sistema para la remoción periódica de lodos, lo que indica que su mantenimiento es nulo. Esta situación ha permitido la disminución del volumen útil de tratamiento.

Tabla 45. Eficiencias de remoción de la DQO, DBO, S.T. S.V, S.S.T., S.S.V. y S. Sed., en los digestores de campana móvil, campana fija y en tanques de fermentación

DIGESTOR	Eficiencias de Remoción [%]						
	DQO	DBO	S.T.	S.V.	S.S.T.	S.S.V.	S. Sed.
C. móvil	98.5	98.7	94.9	97.3	98.7	98.8	99
C. fija	62.1	64.5	33	47.7	58.6	55.6	93.1
C. fija	-23.3	-22.5	-28.1	-27.5	-31.7	-30.9	-42.9
T. fermentación	78.2	77.8	78.5	83.2	76.1	75.6	95.1
T. fermentación	79	79.1	80	81	88.1	86.4	87.8

Los tanques de fermentación, los cuales inicialmente fueron construidos con la finalidad de ser sistemas de almacenamiento de residuos, pero que debido a los altos Tiempos de Retención Hidráulicos (TRH), favorecieron las condiciones para la digestión anaerobia, observándose eficiencias de remoción de la DQO y la DBO superiores al 75 %; en este tipo de sistemas se combina la sedimentación (altas remociones de sólidos sedimentables) con la digestión anaerobia.

En la tabla 46 se presentan la ubicación de las granjas que poseen biodigestores de campana fija, campana móvil y tanques de fermentación y los

valores de la DQO y la DBO del afluente y efluente de dichos sistemas de tratamiento.

La granja que posee el biodigestor de campana móvil, presentó unas altas eficiencias de remoción en los parámetros considerados, al igual que unas bajas concentraciones de la DQO y la DBO en el efluente; lo anterior puede estar influenciado por la toma de la muestra (muestreo puntual) la cual no coincidió con la alimentación de las aguas residuales al digestor, lo que se manifestó en unos valores de los parámetros físico-químicos del efluente no influenciados por las condiciones dinámicas del sistema.

Tabla 46. Ubicación de la granja y valores de la DQO y la DBO de entrada y salida a los distintos tipos de biodigestores

Tipo de Biodigestor	Ubicación Departamento	DQO [mg O ₂ / l]		DBO [mg O ₂ / l]	
		Entrada	Salida	Entrada	Salida
Campana móvil	Meta	36691	537.6	28958.9	319
Campana fija	Cundinamarca	13520	5120	10076	3582.9
Campana fija	Cundinamarca	10587	13050	8002.1	9811.7
T. fermentación	Santander	12273.4	2427	16680	3580
T.fermentación	Santander	24898.2	5473.5	34440	6900

En la tabla 47 se presentan los valores de NTK y N-NH₃ del afluente y efluente para las granjas que poseen biodigestores de campana fija, campana

móvil y tanques de fermentación y los valores alcanzados de Eficiencias de Remoción.

Tabla 47. Valores de entrada, salida y Eficiencias de Remoción para el NTK y en N-NH₃ para los digestores de campana móvil, campana fija y tanques de fermentación

Tipo de Biodigestor	Ubicación Departamento	Entrada [mg/L]	NTK [mg/L]		E.R	Entrada [mg/L]	N-NH ₃ [mg/L]	
			Entrada	Salida			Salida	E.R
Campana móvil	Meta	451.5	627.2	70.4	440.9	514.5	-16.7	
Campana fija	Cundinamarca	1191.8	1450.4	-61.1	1808.5	994.7	45	
Campana fija	Cundinamarca	1363.8	1612	25.5	346.1	641.4	-85.3	
T. fermentación	Santander	989.9	727.6	40.2	631.9	415.8	34.2	
T. fermentación	Santander	3741.7	1328.3	56.2	1731.3	808.5	53.3	

4.9.4 SISTEMA COMBINADO DE SEDIMENTACION Y DIGESTION ANAEROBIA

Este sistema fue encontrado en tres granjas; los resultados obtenidos de eficiencias de remoción y el tipo de digester empleado aparecen consignados en la tabla 48.

Tabla 48. Eficiencias de remoción de DQO, DBO, ST, SV, SST, SSV y S. Sed., en el sistema combinado de sedimentación y digestión anaerobia

DIGESTOR	DQO	DBO	Eficiencias de Remoción [%]				
			S.T.	S.V.	S.S.T.	S.S.V.	S. Sed.
C. móvil	43.9	46.8	37.7	43.3	69.1	69.7	65.2
B. tipo Taiwan	92.8	93.6	94.6	95.4	94.7	95.1	93
B. tipo Taiwan	78.9	81.5	40.7	53.9	34.4	37.8	48.1

El sistema combinado de sedimentación y biodigester tipo Taiwan presenta buenas eficiencias de remoción. La sedimentación previa remueve una buena cantidad de sólidos y de materia orgánica lo que previene posibles sobrecargas y acumulación prematura de lodos en este tipo de biodigester.

Con relación al biodigester de campana móvil, se puede pensar que el remover una buena parte de carga orgánica (expresado como la DQO, DBO y

sólidos) con el sedimentador, el afluyente entra con menor carga al biodigester, por tanto su eficiencia se vería disminuida. Este análisis esta sujeto a los parámetros de diseño del sistema relacionados con las cargas mínimas y máximas admisibles.

En la tabla 49 se encuentra la información referente a la ubicación de las granjas que poseen el sistema en serie de sedimentación y digestión anaerobia y los valores de la DQO y la DBO del afluyente y efluente de dicho sistema.

Tabla 49. Ubicación de la granja y valores de la DQO y la DBO de entrada y salida del sistema en serie de sedimentación y digestión anaerobia

Tipo de Biodigester	Ubicación Departamento	DQO [mg O ₂ / l]		DBO [mg O ₂ / l]	
		Entrada	Salida	Entrada	Salida
Campana móvil	Cundinamarca	10272.9	5760	7358.2	3915
Taiwan	Valle	93429	6708	77370.2	4952.9
Taiwan	Valle	9237	1948	6499	1202.1

El primer biodigester tipo Taiwan presenta unas altas eficiencias de remoción en los parámetros físico-químicos evaluados (tabla 33), pero se observa en la tabla 34 que las concentraciones de la DQO y la DBO del efluente son altas, necesitando un tratamiento adicional para lograr una mayor

disminución en la carga orgánica.

En la tabla 50 se presentan los datos de entrada, salida, y de eficiencias de remoción de NTK y N-NH₃ en el sistema combinado de sedimentación y digestión anaerobia.

Tabla 50. Valores de entrada, salida y Eficiencias de Remoción (E.R) de NTK y N-NH3 en el sistema combinado de sedimentación y digestión anaerobia

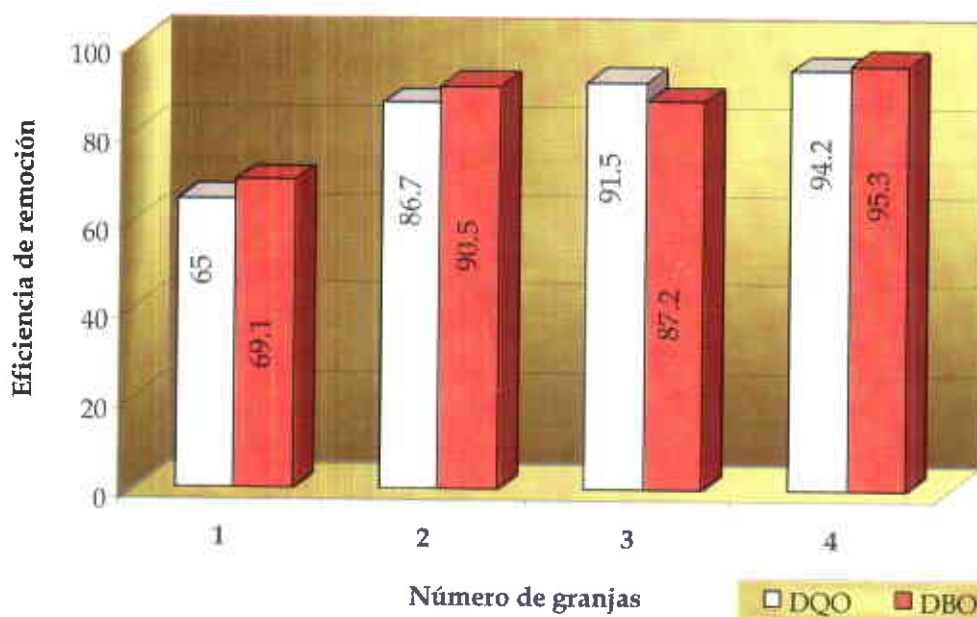
Tipo de Biodigestor	Ubicación Departamento	NTK			N-NH3		
		Entrada [mg/L]	Salida [mg/L]	E.R	Entrada [mg/L]	Salida [mg/L]	E.R
Campana móvil	Cundinamarca	703.5	595.2	15.4	677.5	451.9	33.3
B. tipo Taiwan	Valle	3061.8	1586	48.2	901.2	387.5	57
B. tipo Taiwan	Valle	503.4	270.3	46.3	99.5	180.2	-81.1

4.9.5 SISTEMA COMBINADO DE BIODIGESTOR TIPO TAIWAN Y LAGUNA DE OXIDACION

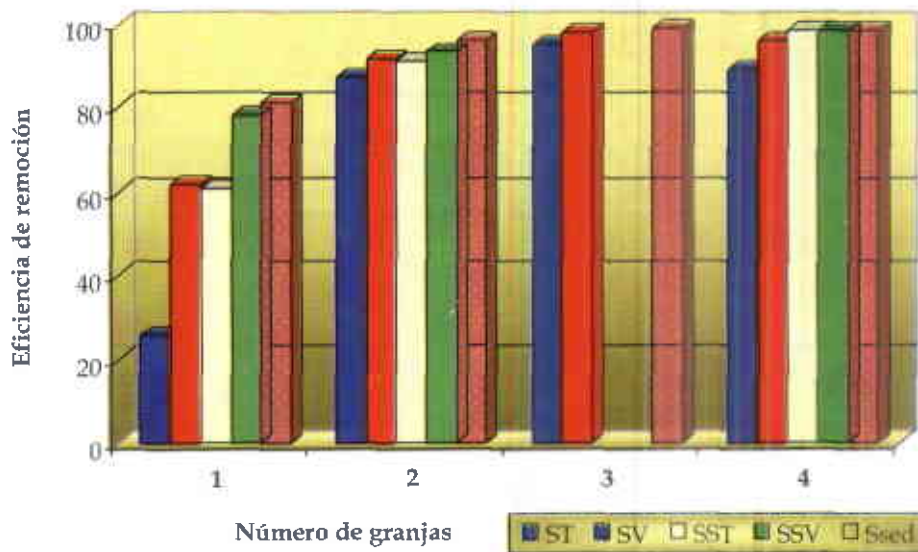
En la gráfica 53 se presentan las eficiencias de remoción encontradas en las cuatro granjas que tienen este tipo de sistema de tratamiento de aguas residuales. Se observan eficiencias de remoción que oscilan entre el 65 % y el 95 % para la DQO y entre 70 % y 95 % para la DBO. Estas combinaciones de tratamientos ofrecen la ventaja de alcanzar altas remociones, ya que parte de la materia orgánica no removida durante la digestión anaerobia puede ser retirada en la laguna de oxidación, la cual es considerada como un buen

sistema para el tratamiento de aguas residuales con elevadas cargas orgánicas.

En la gráfica 54 se presentan los resultados obtenidos de las eficiencias de remoción de S.T., S.V., S.S.T., S.S.V. y S. Sed. encontradas en las granjas que poseen el sistema de biodigestor tipo Taiwan y laguna de oxidación.



Gráfica 53. Eficiencias de remoción de la DQO y la DBO alcanzadas en sistemas combinados de biodigestor tipo Taiwan y laguna de oxidación



Gráfica 54. Eficiencias de remoción de S.T., S.V., S.S.T., S.S.V. y S. Sed. alcanzadas en sistemas combinados de biodigestor tipo Taiwan y laguna de oxidación

En la tabla 51 se encuentra la localización de las granjas que poseen el sistema combinado de biodigestor tipo Taiwan y laguna de oxidación y los valores de la DQO, la DBO y los sólidos del efluente. Se observa que esta combinación de sistemas se encontró únicamente en el Valle del

Cauca, y solo en una de las granjas (granja no. 4) se alcanzan valores bajos en los parámetros físico-químicos del efluente, para las otras granjas es necesario implementar sistemas adicionales para lograr una disminución mayor en los niveles de carga orgánica.

Tabla 51. Ubicación de la granjas con sistema combinado de biodigestor tipo Taiwan y laguna de oxidación y valores de la DQO, la DBO y sólidos del efluente

Granja	Ubicación DQO		DQO [mgO ₂ /l]	S.T. [mg/l]	S.V. [mg/l]	S.S.T. [mg/l]	S.S.V. [mg/l]	S.S.V. [ml/l]
	Depto.	[mgO ₂ /l]						
1	Valle	2620	1765.3	2600	840	613.3	246.7	1.5
2	Valle	3097	1663.8	4105	1955	1700	1017	17
3	Valle	4886	2697.2	3660	1190	787	613	1
4	Valle	667.4	389	1090	276.7	85	77.5	<0.1

En la tabla 52 se reportan los valores encontrados de entrada, salida y de eficiencias de remoción de NTK y N-NH₃ alcanzados en sistemas

combinados de biodigestor tipo Taiwan y laguna de oxidación.

Tabla 52. Valores de entrada, salida y Eficiencias de Remoción (E.R) de NTK y N-NH3 alcanzadas en el sistema combinado de biodigestor tipo Taiwan y laguna de oxidación

Ubicación Departamento	Entrada [mg/L]	NTK		N-NH3		
		Salida [mg/L]	E.R	Entrada [mg/L]	Salida [mg/L]	E.R
Valle	431.4	450.8	-4.5	240.0	343	-42.9
Valle	1966.4	666.6	66.1	1273.5	582	54.3
Valle	3400.0	720.8	78.8	2526.2	540.6	78.6
Valle	540.1	144.2	73.3	490.6	115.3	76.5

4.9.6 OTRAS ALTERNATIVAS

A continuación se listan los sistemas de tratamiento encontrados con menor frecuencia:

- Filtración.
- Lagunas de oxidación.
- Sedimentación y laguna de oxidación.
- Criba Inclinada y laguna facultativa.
- Cribado y digestión anaerobia (biodigestor tipo Taiwan)
- Digestión anaerobia (biodigestor tipo Taiwan) y plantas acuáticas.
- Sedimentación, laguna facultativa y laguna de oxidación.

En la tabla 53 se presentan las eficiencias de remoción con estos sistemas de tratamiento implantados en las granjas estudiadas.

Se observan dos granjas que poseen como único sistema de tratamiento la laguna de oxidación; la primera granja presenta remociones deficientes

en todos los parámetros, posiblemente debido a problemas de diseño y localización entre los cuales se destacan los siguientes:

- Area subdimensionada, no adecuada para el tratamiento de los caudales de agua residual producidos en la granja.
- La localización en medio de un cultivo de plátano lo que provoca la caída de hojas sobre la superficie de la laguna disminuyendo así la transferencia de oxígeno.
- Se encuentra situada al final de una pendiente lo que ocasiona que la escorrentía presentada durante las lluvias provoque la entrada de sedimentos a la laguna, incrementando la cantidad de materia orgánica a tratar y disminuyendo el volumen útil de tratamiento por acumulación de sedimentos.
- Falta de mantenimiento.

Tabla 53. Eficiencias de Remoción de DQO, DBO, S.T, S.V, S.S.T, S.S.V y S. Sed. de los sistemas de tratamiento encontrados con menor frecuencia

Sistema de Tratamiento	Eficiencia de Remoción						
	DQO (%)	DBO (%)	S.T (%)	S.V (%)	S. Sed. (%)	S.S.T (%)	S.S.V (%)
Filtración	87	89.1	86.2	88.3	95.2	93.5	94.7
Laguna de oxidación	16.5	34.4	1.9	15.9	20	15.6	3.4
Laguna de oxidación	95.2	96.5	93.4	94.3	94.1	94.6	96
Sedimentación y Laguna de oxidación	93.2	95.1	93	96.6	97.8	97.4	97.7
Sedimentación y Laguna de oxidación	81.8	85	80.2	94.3	99.6	95.3	94.5
Cribado y Biodigestor Tipo Taiwan	86.2	86	76.5	80.6	99.4	93.2	92
Criba Inclinada con Tornillo sin fin y L. Facultativa	98.3	98.9	94.8	98.1	99.9	99.3	99.4
Biodigestor Tipo Taiwan y Plantas acuáticas	86.5	87.2	57.8	64.1	89.3	89.5	89.3

La segunda granja posee una laguna de oxidación, la cual presenta alta remoción en los parámetros estudiados (entre el 93% y el 96%).

En una granja se encontró un filtro como sistema de tratamiento; este tiene una altura de aproximadamente 2 metros y está compuesto por las siguientes materiales : grava, antracita, arena y membrana en geotextil. Las muestras analizadas arrojaron altas eficiencias de remoción de materia orgánica y de sólidos; estos valores llevan a pensar que adicionalmente al proceso físico de remoción se esta produciendo un proceso biológico.

El sistema de sedimentación en serie con una laguna de oxidación, que se encontró en dos granjas, presenta un buen desempeño referido a las

altas remociones en todos los parámetros analizados (superiores al 90 %). Lo anterior convierte a esta combinación de sistemas en una buena alternativa de tratamiento, debido a que la sedimentación disminuye la carga orgánica de entrada a la laguna de oxidación evitando una sobrecarga, lo que se traduce en un buen desempeño.

El sistema compuesto de cribado y biodigestor tipo Taiwan encontrado en una sola granja , presenta remociones superiores al 75 % en todos los parámetros. El cribado retira material de tamaño mediano (estiércol sólido) lo que ayuda a una buena operación y desempeño del reactor. De la misma manera, el sistema de criba inclinada con tornillo sin fin seguido por una laguna facultativa, presenta altas eficiencia de remoción de materia orgánica y de sólidos.

Se encontró una granja con un sistema de tratamiento compuesto por un biodigestor tipo Taiwan cuyos efluentes pasan a un cultivo de plantas acuáticas, presentando remociones de materia orgánica superiores al 85 %. Este sistema presenta potencialmente un beneficio adicional debido a que las plantas podrían utilizarse como suplemento alimenticio para animales.

En la tabla 54 se presentan la ubicación de las granjas y los valores de los parámetros físico-químicos de los efluentes de los sistemas encontrados con menor frecuencia.

Adicionalmente, se encontraron dos granjas donde se combinan procesos de sedimentación, laguna facultativa y laguna de oxidación. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 55.

Tabla 54. Ubicación de la granjas con sistemas de tratamiento encontrados con menor frecuencia y valores de la DQO, la DBO y sólidos de los efluentes

Sistema de tratamiento	Depto.	DQO [mgO ₂ /l]	DBO [mgO ₂ /l]	S.T. [mg/l]	S.V. [mg/l]	S.S.T. [mg/l]	S.S.V. [mg/l]	S.Sed [ml/l]
Filtración	Boyacá	3040	1893	3070	1800	1320	870	12.5
Laguna de oxidación	Quindío	3730	2117.9	3319	1778	1844	1428	20
Laguna de oxidación	Valle	1103	556.6	1400	625	947	533	12
Sedimentación y laguna de oxidación	Tolima	267.1	138.2	200	67	50	65	0.5
Sedimentación y laguna facultativa	Valle	2142	1337.1	2480	793.3	700	650	1
Cribado y B. Tipo Taiwan	C/marca	2400	1802.7	3390	1850	460	440	0.5
Criba inclinada con tornillo sinfín y L. facultativa	C/marca	545.1	297.6	1391	411.4	163.3	130	0.5
B. tipo Taiwan y plantas acuáticas	Valle	1068	647.4	2025	900	280	215	7

Se observan remociones de DQO y DBO superiores al 80 % y altas remociones en sólidos. Cabría pensar que al haber tres tipos de tratamientos integrados, las eficiencias de remoción serían más altas; No obstante se encontraron menores re-

mociones de materia orgánica, lo que podría indicar que los sistemas no están muy bien dimensionados; fallas en su operación y mantenimiento; fallas en la toma de muestra (puntual) entre otros factores.

Tabla 55. Eficiencias de remoción de encontradas en las granjas con un sistema de tratamiento compuesto por sedimentación, laguna facultativa y laguna de oxidación

Granja	DQO(%)	DBO(%)	Eficiencia de Remoción				
			S.T(%)	S.V(%)	S. Sed.(%)	S.S.T(%)	S.S.V(%)
1	87.1	89.8	89	94	98	98.1	98
2	80.8	89.6	91.8	95.4	97.5	94.9	95.6

En términos generales se observa que las plantas de tratamiento donde se posee un sistema de pretratamiento (cribado) o de tratamiento primario (sedimentación, filtración) como etapa preliminar a un sistema secundario (biodigestor tipo Taiwan, laguna de oxidación, laguna facultativa),

se obtienen altas eficiencias de remoción de materia orgánica y de sólidos.

En la tabla 56 se presentan los valores de entrada, salida y de eficiencias de remoción de NTK, N-NH₃ de los sistemas encontrados con menor frecuencia.

Tabla 56. Valores de NTK, N-NH₃ de los afluentes, efluentes y las Eficiencias de Remoción (E.R) en los sistemas de tratamiento encontrados con menor frecuencia

Sistema de tratamiento	Ubicación Depto	NTK		E.R [mg/L]	N-NH ₃		E.R [mg/L]
		Entrada	Salida [mg/L]		Entrada	Salida [mg/L]	
Filtración	Boyaca	1234.4	351.8	71.5	343.0	205.8	40
Lag. de oxidación	Quindio	340.9	553	-62.2	288.3	360.4	-25
Lag. de oxidación	Valle	2121.6	108.2	94.9	1253.5	53.9	95.7
Sedimentación y lag. de oxidación	Tolima	378	18.9	95	315.0	12.6	96
Sedimentación y Lag. Facultativa	Valle	2868.2	63.1	97.8	2039.1	46.9	97.7
Cribado y B. Tipo Taiwan	Cund	4355.6	2273.6	47.8	1166.1	994.7	14.7
Criba inclinada con tornillo sinfín y Lag. Facultativa	Cund	8320.0	41.6	99.5	116.0	11.6	90
B. tipo Taiwan y plantas acuáticas	Valle	324.6	132.1	59.3	280.8	81.7	70.9

4.10 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS

Dentro del estudio se realizaron análisis de Coliformes Totales, Escherichia Coli y presencia o ausencia de salmonella a 20 muestras tomadas en 9 granjas en el departamento de

Cundinamarca. En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos de los análisis realizados a los afluentes y efluentes de los sistemas de tratamiento encontrados y en las aguas residuales sin ningún tipo de tratamiento.

Tabla 57. Resultados obtenidos de los análisis microbiológicos a las aguas vertidas de 12 granjas porcícolas

Granja	Sistema de tratamiento	Salmonella	Coliformes Totales NMP/100 mL		E.Coli [UFC/ mL]	
			Entrada	Salida	Entrada	Salida
1	Sin tratamiento	Ausente	9.2 x10 ⁴		2.3 x10 ⁴	
2	Sin tratamiento	Ausente	2.4 x10 ⁵		1.2 x10 ³	
3	Sin tratamiento	Ausente	4 x10 ⁵		1 x10 ³	
4	Sedimentador	Ausente	7.9 x10 ⁸	1.6 x10 ⁷	2.7 x10 ⁵	3.2 x10 ⁵
5	Sin tratamiento	Ausente	2.4 x10 ⁷		2 x10 ⁴	
6	Sedimentador	Ausente	1.3 x10 ⁸	5.42 x10 ⁸	9 x10 ⁴	1.6 x10 ⁵
7	Criba con tornillo sinfín	Ausente	1.09 x10 ⁸	1.72 x10 ⁸	1 x10 ⁴	1 x10 ⁴
7	Laguna facultativa	Ausente	1.72 x10 ⁸	1.6 x10 ⁵	1 x10 ⁴	250
8	Sedimentador	Ausente	6 x10 ⁶	7.9 x10 ⁷	7.2 x10 ⁴	1 x10 ⁵
8	Biodigestor Campana movil	Ausente	7.9 x10 ⁷	7 x10 ⁵	1 x10 ⁵	1 x10 ⁴
8	Secador de estiércol	Ausente	6 x10 ⁶	2.4 x10 ⁶	3 x10 ⁴	1.2 x10 ⁴
9	SedimentadorCEBA	Ausente	3.3 x10 ⁷	4.9 x10 ⁷	6 x10 ⁴	4 x10 ⁴
9	Sedimentador Parideras y precebos	Ausente	4.9 x10 ⁷	3.5 x10 ⁸	4 x10 ⁴	2.7 x10 ⁶

UFC= Unidades Formadoras de Colonias.

5. LEGISLACIÓN AMBIENTAL

Para entender la norma, es necesario tener en cuenta que ésta no fue simplemente diseñada como un mecanismo para que los productores, cualquiera que ellos sean, implementen medidas de control para disminuir el impacto ambiental de los residuos generados en sus diferentes procesos productivos. Su origen, su filosofía, se fundamenta en la necesidad de proteger los recursos naturales para garantizar la supervivencia de todos los seres que habitamos el planeta tierra.

Las tribus trashumantes del Sahara, tras largos recorridos a través de las áridas dunas de geografía volátil, cuando llegan a un oasis llegan a la vida. Allí se descansa plácidamente, se negocian víveres y cachivaches, el agua cobra su real magnitud...es simplemente vida, se comparten fraternalmente las experiencias, y cuando es hora de partir, las tiendas se dejan perfectamente arregladas, los lechos limpios y tendidos y finalmente, se preparan alimentos, no importa para quien, lo importante es que el que llegue los encuentre.

A continuación se exponen algunos de los aspectos mas importantes de la Legislación Ambiental, tomados de la conferencia "El espíritu de la norma jurídica en el derecho ambiental" (Sastoque J. E., 2000).

5.1. FUNDAMENTOS DE DERECHO PÚBLICO INTERNACIONAL

✓ Declaración de Principios sobre el Medio Humano. Estocolmo 1.972

✓ Declaración sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Río de Janeiro 1.992:

Principios:

1. Los seres humanos constituyen el eje del desarrollo sostenible y gozan del derecho a la salud

y a la productividad en armonía con la naturaleza.

2. Los estados ejercen el derecho y la soberanía para aprovechar los recursos naturales, según sus políticas ambientales y de desarrollo. Son responsables por su guarda para evitar que la productividad cause daño al ambiente de otros estados o fuera de su comprensión territorial.

3. El desarrollo se ejercerá en forma equitativa y acorde con los derechos ambientales de las generaciones presentes y futuras.

8. Los estados deberán reducir y eliminar las modalidades de producción insostenibles.

9. Los estados deberán fortalecer su capacidad para lograr el desarrollo sostenible. Incentivarán el saber científico, y la innovación tecnológica.

10. El estado deberá incentivar la información respecto de materiales y actividades que conlleven peligro para la comunidad. También deben fomentar la participación y la sensibilización de los ciudadanos en todos los asuntos de interés público ambiental. Además proporcionará acceso a los procedimientos judiciales y administrativos para garantizar el resarcimiento de los daños y los recursos pertinentes.

11. Los estados deberán promulgar leyes eficaces sobre el medio ambiente.

12. Los estados deberán cooperar en la promoción de un sistema económico internacional favorable y abierto que llevará al crecimiento económico y al desarrollo sostenible de todos los países, a fin de abordar en mejor forma los problemas de la degradación ambiental. Las medidas de política comercial con fines ambientales no deberán constituir un medio de discriminación ar-

bitraria o injustificable, ni una restricción velada del comercio internacional. Se deberá evitar tomar medidas unilaterales para solucionar los problemas ambientales que se producen fuera de la comprensión del país importador. Las medidas destinadas a tratar los problemas ambientales transfronterizos o mundiales deberán, en la medida de lo posible, basarse en consenso internacional.

13. Los estados deberán desarrollar la legislación nacional relativa a la responsabilidad y a la indemnización respecto de las víctimas y otros daños ambientales.

15. La falta de certeza científica absoluta, no debe impedir la adopción de medidas para evitar el agotamiento de los recursos naturales y los daños ambientales. Se aplicará el principio de precaución con el fin de proteger el ambiente tanto social como natural.

16. Las autoridades nacionales tendrán que fomentar la internalización de los costos ambientales y el uso de instrumentos económicos. El criterio a seguir será el que contamina debe, en principio, cargar con los costos de contaminación, con arreglo al interés público sin distorsionar el comercio ni las inversiones internacionales.

17. Los estados adoptarán la evaluación de los impactos ambientales a través del estudio de impacto ambiental, el que será instrumento de planificación nacional, respecto de cualquier actividad que haya de producir impactos negativos en el medio y que este sujeta a la decisión de una autoridad nacional competente.

5.2. FUNDAMENTOS CONSTITUCIONALES DE LA LEGISLACIÓN AMBIENTAL

✓ PRINCIPIOS FUNDAMENTALES:

Artículo 1o. Colombia es un Estado Social de Derecho, fundado en el respeto a la dignidad humana, el trabajo, la solidaridad y la prevalencia del interés general.

Artículo 2o. Los fines esenciales del Estado son: servir a la comunidad, promover la prosperidad general, garantizar la efectividad de los principios, los derechos y deberes consagrados en la Constitución. Además se debe facilitar la participación de

todos de las decisiones que afectan la vida económica, política, administrativa y cultural de la nación.

Artículo 4o. La Constitución es norma de normas. Todo nacional y extranjero debe acatar la Constitución y la Ley, respetar y obedecer a las autoridades.

Artículo 8o. El estado y las personas se obligan a proteger las riquezas naturales de la Nación.

Artículo 49. El saneamiento ambiental es un servicio público a cargo del estado.

Artículo 58. Se garantiza la propiedad privada y los derechos adquiridos con arreglo a leyes civiles. El interés privado deberá ceder al interés público o social.

La propiedad es una función social que implica obligaciones, en especial, le es inherente una función ecológica.

El Estado protegerá y promoverá formas asociativas y solidarias de propiedad.

Por motivos de interés público o de utilidad social definidos por el legislador, podrá haber expropiación judicial, previa indemnización.

Artículo 63. Los bienes de uso público, y los demás determinados por la ley son: inembargables, imprescriptibles e inalienables.

Artículo 65. La producción de alimentos gozará de especial protección del Estado. Para tal efecto se otorgará prioridad al desarrollo integral de las actividades agrícolas, pecuarias pesqueras, forestales y agroindustriales.... De igual manera el estado promoverá la investigación y la transferencia de tecnología para producción de alimentos y materias primas de origen agropecuario con el propósito de incrementar la productividad.

Artículo 66. Las disposiciones que se dicten en materia crediticia podrán reglamentar las disposiciones especiales del crédito agropecuario, teniendo en cuenta los ciclos de las cosechas y de los precios, como también los riesgos inherentes a la actividad y a las calamidades ambientales.

Artículo 78. La Ley regulará el control a la calidad de bienes y servicios ofrecidos y prestados a

la comunidad. Serán responsables de acuerdo a la Ley, quienes en la producción comercialización de bienes y servicios, atenten contra la salud la seguridad y el adecuado aprovisionamiento a consumidores y usuarios.

Artículo 79. Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La Ley garantizará la participación en las decisiones que puedan afectarlo.

El Estado deberá proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.

Artículo 80. El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados.

Artículo 81. El Estado regulará el ingreso al país y la salida de él de los recursos genéticos, y su utilización de acuerdo con el interés nacional.

Artículo 95. Deberes de la persona y el ciudadano. El ejercicio de los derechos y libertades reconocidos en esta constitución implica responsabilidades: Respetar los derechos ajenos y proteger los recursos naturales del país y velar por la conservación de un ambiente sano.

Artículo 311. Funciones de los municipios:

1. Reglamentar los usos del suelo dentro de los límites que fije la ley.
2. Dictar las normas necesarias para el control, la preservación y defensa del patrimonio ecológico del municipio.

Artículo 334. La dirección de la economía estará a cargo del Estado. Este intervendrá, por mandato de la Ley, en la explotación de los recursos naturales en el uso del suelo, en la producción, distribución, utilización y consumo de los bienes, y en los servicios públicos y privados, para racionalizar la economía con el fin de conseguir el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes, la distribución equitativa de las oportunidades y

los beneficios del desarrollo y la preservación de un ambiente sano.

5.3. FUNDAMENTOS LEGALES VIGENTES PARA LA INDUSTRIA PORCÍCOLA EN COLOMBIA

La legislación está integrada y sistematizada en cuatro componentes normativos:

1. Reglamentarios
2. Permisivos
3. Sancionatorios
4. Coactivos

Ley 23 de 1973. Norma que recogió los principios de la cumbre sobre medio ambiente humano y actúa como fundamento para la adopción y expedición del código de los recursos naturales y de protección al ambiente.

Decreto 2811 de 1974. Estatuto que integra y sistematiza lo relativo a la biodiversidad, manejo, uso y administración de los recursos naturales renovables. Regula el desarrollo de las actividades económico - productivas en los medios urbanos y rurales.

Clasifica como bienes públicos de interés general para efectos de uso y aprovechamiento, el suelo, el agua, el aire, la flora y la fauna que hacen parte de los diversos ecosistemas existentes en territorio colombiano.

Decreto 1541 de 1978. Consagra el régimen legal de las aguas en Colombia.

Decreto 1594 de 1984. Estatuto que contiene lo relativo a la disposición de los vertimientos líquidos de origen residual, descargados en fuentes hídricas de uso público. Establece la norma de calidad ambiental del agua para efectos de garantizar su composición físico química y bacteriológica.

Ley 99 de 1993. Establece los estudios de impacto ambiental, los diagnósticos ambientales de alternativas y los planes de manejo ambiental. En consecuencia crea la licencia ambiental. Régimen de tasas retributivas.

Elabora el marco normativo sancionatorio con arreglo al procedimiento establecido en el decreto 1594 de 1984.

Decreto 1753 de 1994. Reglamenta las actividades que requieren de licencia ambiental:

Artículo 8. Numeral 13. Este regula lo relativo a los establecimientos comerciales porcícolas, por lo cual está concebida como de las actividades que generan impactos ambientales que hacen obligatoria la exigencia de la licencia ambiental.

Ley 165 de 1994. Relativa al convenio sobre diversidad biológica a la naturaleza jurídica y manejo, acceso a los recursos genéticos a la tecnología y su transferencia.

Decreto 948 de 1.995. Estatuto que establece lo relativo a las emisiones atmosféricas y al control de ellas y del ruido en las áreas urbanas, suburbanas y rurales. Esta norma debe complementarse con la resolución 02 de 1982, para efectos de reglamentar las descargas permitidas en la atmósfera.

Decreto 605 de 1996. Estatuto relacionado con la disposición de los residuos sólidos. Reglamenta la ley 142 de 1994, sin perjuicio de las normas y lineamientos que establezcan las autoridades y sanitarias competentes.

Decreto 1791 de 1996. Establece el régimen de los aprovechamientos forestales:

1. Persistente
2. Único
3. Aislados
4. Zonas urbanas, privadas o públicas.

Ley 373 de 1997. Norma que contiene lo relativo a la protección de zonas de especial importancia acuífera, además de lo concerniente al rehúso, economía y regulación del consumo del agua en los medios urbanos y rurales. Debe tenerse en cuenta para las diferentes actividades económicas incluidas la agricultura.

Ley 388 de 1997. Estatuto que modificó la ley 9a de 1989, en lo relativo a la clasificación y usos del suelo:

1. Urbano
2. Rural
3. Expansión
4. Protección.

Decreto 901 de abril 1 de 1997. Por medio del cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa o indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se establecen las tarifas de éstas.

Ley 357 de 1997. Contiene lo relativo a la protección de los humedales, el hábitat y la avifauna.

Decreto 475 del 1.998. Estatuto que establece la norma de calidad físico, química, bacteriológica y organoléptica para efectos del consumo de agua potable.

Acuerdo 15 de 2000 - CAR. Por medio de la cual se fija la meta de reducción de la carga contaminante por vertimientos puntuales en las Cuencas que hacen parte del territorio donde ejerce jurisdicción.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

✓ Las lagunas de oxidación pueden llegar a ser sistemas eficientes para remover cantidades importantes del material orgánico constituyente de las excretas de cerdo, siempre y cuando cumplan con unos requerimientos técnicos mínimos, tales como:

- Asesorarse de un profesional especialista en suelos para determinar las condiciones geológicas del terreno (profundidad del nivel freático y de la capa permeable del suelo, entre otros aspectos).
- Hacer zanjas alrededor de la laguna para enrutar cualquier desagüe.
- 1.2 m de profundidad para lagunas de baja tasa de depuración con TRH del orden de 40 días.
- 0.3-0.45 m de profundidad para lagunas de alta tasa con TRH de 6 días.
- Tener en cuenta varios volúmenes: volumen de diseño basado en los Kg de Sólidos Volátiles por unidad de volumen de laguna, un volumen de almacenamiento de estiércol, un volumen de dilución (1:1), un volumen para almacenar una tormenta de 24 horas, un volumen de lodo y un volumen de sobrediseño.
- Temperaturas óptimas de 20°C.
- Las lagunas deben impermeabilizarse para evitar la contaminación del subsuelo y por consiguiente las aguas freáticas; se pueden impermeabilizar de forma natural (taponamiento físico del suelo con sólidos sedimentados), aplicando un polímero con bentonita cuando la laguna está vacía, con geomembranas para cero permeabilidad.

Debido a éstos y otros aspectos, si hay una baja disponibilidad de tierra y sus costos son elevados, si la pira tiene un número elevado de animales, las lagunas de oxidación se convierten en una alternativa de baja viabilidad económica.

✓ Para disminuir costos en la construcción de lagunas de estabilización, se recomienda construir las en serie, en donde las primeras se encargan de remover Sólidos Suspendidos y DBO, las secundarias principalmente DBO y Coliformes fecales y las terciarias una remoción natural adicional.

✓ Las lagunas anaeróbicas son diseñadas para tratar afluentes con una elevada carga orgánica y solo en su superficie tienen zonas aeróbicas; generalmente son empleadas como lagunas primarias para tratar DBOs superiores a 1000 mg/L. Su profundidad es de 2.5 a 5 m, TRH de 20 a 50 días, temperatura óptima de 30°C; cuando la temperatura es inferior a 10°C, la descomposición biológica es muy baja pero debido a su volumen y TRH, actúa como un gran sedimentador logrando una disminución de la DBO sedimentable. Estas lagunas generan olores desagradables debido a la producción de Ácido Sulfhídrico obtenido en el proceso de fermentación en ausencia de Oxígeno, de tal manera que no es recomendable construir las cerca de núcleos poblacionales.

✓ Se recomienda para las lagunas anaeróbicas instalar dispositivos para la recuperación del biogás generado en el proceso (carpas, campanas) evitando de esta manera la contaminación atmosférica.

✓ Es importante tener en cuenta que con las lagunas anaeróbicas se tienen pérdidas considerables de Nitrógeno (70-80 % a la atmósfera), Fósforo (60-80% retenido en el suelo de la laguna) y Potasio (50-60% igualmente retenido en el suelo), con lo cual disminuye su eficiencia en procesos de fertilización.

- ✓ La fermentación anaerobia en digestores (fermentadores) es un proceso biológico en el cual las bacterias que intervienen, son capaces de degradar a casi todos los compuestos orgánicos constituyentes del estiércol de cerdo.
- ✓ Existen numerosos modelos de biodigestores que permiten adaptar los procesos de fermentación anaerobia para pequeños, medianos y grandes productores. Se pueden recomendar cuando no hay mucha disponibilidad de tierra.
- ✓ La mayoría de biodigestores permiten disminuir la contaminación entre un 50-70% y como beneficio adicional se obtiene biogás (energía alternativa) y un lodo digerido (estabilizado), productos que permiten la valorización de los residuos.
- ✓ Los fermentadores anaeróbicos requieren de un manejo tecnológico superior al de los otros sistemas de tratamiento debido entre otros aspectos a: la carga del afluente debe ser lo más estable posible, evitándose sobrecargas o excesivas diluciones (se requieren tanques de homogeneización de caudales); se deben proteger de cambios bruscos en la temperatura; se debe vigilar que la entrada y salida del biodigestor estén libres de obstrucciones para disminuir los riesgos de sobrepresión; el biogás generado debe limpiarse de impurezas (A. Sulfhídrico, humedad) para minimizar los problemas de corrosión en tuberías de conducción, lámparas, tanques de almacenamiento, infraestructura de los corrales (techos), etc.; necesitan sistemas de drenaje de lodos para evitar problemas de saturación y pérdida de eficiencia; se requiere de una persona capacitada para que se encargue del sistema de tratamiento.
- ✓ Los fermentadores de cúpula fija se construyen con materiales de fácil consecución, no tienen partes metálicas que puedan oxidarse y por lo tanto su vida útil es mayor. La presión de gas no es constante y la cúpula debe ser completamente hermética lo que indica cierta complejidad en la construcción y costos adicionales en el proceso de impermeabilización.
- ✓ Los fermentadores de campana flotante trabajan a presión constante, se puede estimar la producción de biogás almacenado midiendo el nivel de la campana. Debido a que las campanas son metálicas pueden estar expuesta a la corrosión, presentan altos costos de mantenimiento debido al uso periódico de pintura anticorrosiva.
- ✓ Los fermentadores tipo Taiwán (balón, chorizo) son los más económicos del mercado; por su relación precio-metro cúbico de agua tratada-eficiencia, son muy atractivos para pequeños y medianos productores principalmente; su instalación es rápida y sencilla. Son más adecuados para climas con temperaturas medias y altas, el plástico debe ser resistente a la intemperie así como a los rayos ultravioleta, y deben protegerse de la caída de piedras, ramas, del paso de animales y personas que puedan dañar el plástico. Su vida útil es del orden de 5 años.
- ✓ Los reactores UASB son considerados de alta tasa debido a que toleran altas concentraciones de sólidos y carga orgánica, y buenas remociones de estos materiales; estos reactores son los más difundidos en el mundo. Al igual que todos los fermentadores anaeróbicos, son muy sensibles a las características del afluente. De otra parte, este reactor es muy lento ante los cambios de carga y por consiguiente de TRH.
- ✓ Los tratamientos primarios diseñados para retirar la mayor cantidad posible de sólidos de los afluentes, son recomendados para implementarlos como primera medida de tratamiento de tal manera que se recupere una buena cantidad de sólidos para ser utilizados en programas de fertilización, y se facilite el diseño de sistemas de tratamiento secundarios.
- ✓ Debido a las características físicas del estiércol de cerdo (densidad), los procesos de separación son más complejos y para obtener buenos rendimientos se requieren tiempos de residencia más elevados que los empleados en otro tipo de residuos.
- ✓ Los sistemas de separación por gravedad (tanques sedimentadores) pueden remover hasta un 50% de sólidos, mientras que los separadores mecánicos entre 25 y 30%. Muchos sólidos sedimentan en 10-15 minutos y otros continúan sedimentando por horas; la adición de agua de dilución mejora la sedimentación.
- ✓ Los tanques de sedimentación diseñados para ser desocupados cada 2 y 3 meses, deben ser cubiertos para minimizar el problema de olores.

- ✓ Los sólidos obtenidos en tanques de sedimentación por gravedad, son mas húmedos e inestables que los obtenidos por separación mecánica.
- ✓ El estudio mostró un mayor porcentaje de granjas de ciclo completo (62.6%).
- ✓ Se encontró que el 80% de las granjas visitadas tienen mas de 10 años de funcionamiento con la infraestructura actual, la cual solo es modificada si las condiciones del mercado permiten expansiones.
- ✓ El 63% de las granjas estudiadas captan directamente el agua de nacimientos y quebradas, siendo un recurso muy barato lo que propicia su uso excesivo y por consiguiente, se genera un volumen mayor de vertidos.
- ✓ El 48.3% de los productores encuestados alimentan sus animales exclusivamente con concentrados comerciales, el 49.5% lo hacen con dietas modificadas (desechos de panadería, harina de sangre, etc.) y un 2.2% utilizan lavaza, desechos de cosechas, aves muertas, entre otros.
- ✓ El estudio mostró que un 36.3% de las granjas no realiza ningún tipo de tratamiento, de los cuales el 48.5% realiza aplicación directa sin un programa claro de fertilización; el 25.7% dispone los vertidos en campos de infiltración o conduciéndolos a través de zanjas para la fertilización de potreros, práctica que no permite un control adecuado de las dosificaciones a aplicar. El 14.3% descarga sus aguas residuales en cuerpos de agua.
- ✓ Se encontró que las granjas pequeñas cuentan con mayor área de terreno disponible por animal, que potencialmente puede ser utilizada en programas de fertilización.; en la medida que las granjas se intensifican (mayor número de animales por m²), la disponibilidad de tierra disminuye. Esta situación es bastante lógica debido a que también aumenta de forma considerable el volumen de residuos.
- ✓ Del 58.2% de empresarios que respondió a la pregunta acerca de los dispositivos utilizados para el lavado de los corrales, el 54.7% no emplea dispositivos de presión en estas operaciones, con lo cual se aumenta el consumo de agua.
- ✓ En un 53.85% de las granjas no hay separación de las aguas lluvias, situación que contri-

buye a un aumento del volumen final de los afluentes a tratar.

- ✓ En Lactancia y Precebos, un 49.3% y un 35.6% respectivamente, tienen pisos sólidos que favorecen un ambiente muy húmedo. Esta situación contribuye al aumento de enfermedades entéricas y en menor proporción a enfermedades respiratorias, lo cual conduce a peores tasas de conversión alimenticia.

RECOMENDACIONES PARA MEJORAR EL DESEMPEÑO AMBIENTAL DE LOS PRODUCTORES PORCÍCOLAS

La gestión ambiental que conduzca a la implementación de programas de producción mas limpia, debe convertirse en uno de los objetivos de los productores para mejorar no solamente su desempeño ambiental, sino también su competitividad a través de la valorización de los residuos, la armonización de la industria con el medio ambiente y el crecimiento de una imagen positiva hacia el cerdo.

- ✓ Los productores deben diseñar programas de Manejo Integral del Residuo, MIR, que incluyan aspectos como: Minimización en la fuente, prácticas mas limpias, sistemas de tratamiento que permitan la valorización energética de los residuos. No existe un sistema de tratamiento que por si solo solucione los problemas ambientales generados por los residuos, se debe crear un plan de manejo que incluya varias estrategias.
- ✓ Es obligación de los productores preocuparse por conocer sus obligaciones y deberes para con el medio ambiente. Esto implica que deben evaluar y diagnosticar su situación ambiental (cuanto volumen de residuos generan, consumos de agua, conocimiento del impacto ambiental derivado de un manejo inadecuado de los residuos), tener un nivel mínimo de cultura medioambiental, conocer que es un programa minimización de la contaminación en la fuente, entre otros aspectos, es decir, mantener siempre una actitud proactiva.
- ✓ Intensificación de las prácticas de limpieza en seco. Mas que un método de control, es una medida preventiva orientada a minimizar la cantidad de sólidos, y materiales orgánicos e inorgánicos contenidos en las aguas residuales industriales, a través de un programa de prácticas mas

limpias cuyo objetivo principal es la reducción en la fuente (origen) de los contaminantes de las aguas residuales y adicionalmente, la disminución del volumen final de los vertidos y su carga contaminante mediante el ahorro del agua empleada en las operaciones de limpieza. Básicamente consiste en realizar barridos del estiércol en seco (escobas, cepillos, etc.) diariamente antes de iniciar las operaciones de limpieza con agua.

✓ Reducción del consumo de agua. El derroche de agua se presenta cuando es empleada excesivamente en las operaciones de limpieza, en determinadas etapas de los procesos productivos y como consecuencia de un mal mantenimiento de equipos y tuberías de conducción. En las operaciones de limpieza, emplear agua para arrastrar los residuos, puede considerarse como una práctica inadecuada debido a su consumo elevado e innecesario, contribuyendo de igual manera a un aumento considerable de los vertidos industriales (aguas residuales). Así mismo, el lavado de corrales y equipos en general sin emplear dispositivos de presión, para citar un ejemplo, aumenta el consumo de agua. Cuando no existe un programa adecuado de mantenimiento de equipos, de griferías y tuberías de conducción, entre otros, se presentan frecuentemente fugas y derrames de agua, situación que contribuye de igual manera con el aumento de su consumo, y de los volúmenes de vertidos. Todos estos aspectos inciden directamente en los costos de producción.

✓ Debe crearse un comité cuya función será la de realizar una auditoria del consumo de agua para detectar los puntos en que sea posible un ahorro; este comité estará conformado por el administrador de la Granja y los encargados de la limpieza de los corrales. A partir de este diagnóstico, se elaborará un programa que involucre aspectos como: concientización y capacitación de todo el personal en prácticas de ahorro de agua; modificaciones en el modo de operación; auditoria continua del consumo de agua, consumo mínimo para una operación correcta y segura en cada una de las etapas del proceso, y establecer un plan de ahorro y seguimiento; programa de mantenimiento preventivo de equipos, griferías y tuberías de conducción, en el cual se incluya la vigilancia permanente de aspectos como, sellos hidráulicos, empaques, conexiones, humedad en tuberías y paredes, corrosión, impermeabilización

de tanques, infiltraciones, flotadores, registros, válvulas de control, etc.; utilización de equipos y griferías de bajo consumo; sistemas que aumenten la presión del agua utilizada en las operaciones de limpieza; Aplicación de un programa estricto de barrido en seco, que permita un ahorro considerable de agua en las operaciones de limpieza.

✓ Separación de las redes de aguas lluvias, domésticas e industriales. Debe ser iniciativa de los productores el aprovechamiento cada vez mayor de las aguas lluvias; las aguas domésticas deben ser conducidas preferiblemente hacia tanques sépticos.

✓ Cuando los sólidos del estiércol y la fracción líquida van a ser utilizados como fertilizantes, se debe diseñar un estricto programa de fertilización que incluya un análisis del terreno en donde va a ser aplicado (características de drenaje, nivel freático, pendientes, proximidades a fuentes hídricas, etc.), evaluación fisicoquímica del estiércol para conocer el porcentaje de nutrientes como Nitrógeno, Fósforo y Potasio y finalmente determinar las necesidades nutritivas de los cultivos a fertilizar.

✓ Bajo ninguna circunstancia las aguas residuales, ni los residuos sólidos deben ser descargados en cuerpos de agua de manera directa o indirecta.

✓ Cuando el programa de minimización en la fuente esté siendo aplicado de manera rutinaria, se debe evaluar nuevamente los volúmenes de aguas residuales y sus características fisicoquímicas para escoger la mejor alternativa para la valorización final de los residuos.

✓ Recuerde que un buen programa de gestión ambiental:

- Reduce costos de producción
- Reduce costos de tratamiento de residuos
- Reduce daños al ambiente y a las comunidades circundantes.
- Evita consecuencias económicas y de reputación derivadas de problemas con las autoridades ambientales.
- Contribuye a mantenerse al ritmo de las tendencias del mercado
- Reorientación hacia producción de mayor valor agregado
- Mejora la competitividad.

BIBLIOGRAFIA

- Calvo Seoáñez M. Contaminación del suelo. Madrid (España) 1999.
- Consejo Mexicano de Porcicultura (CMP), Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM. Memorias. Segundo Seminario «Manejo y Reciclaje de Residuos Porcinos»,. Compilación: Rosario Pérez Espejo., México, 1997.
- Fundación PESENCA. El biogás y sus aplicaciones. Barranquilla, 1992.
- Konzen E. A. Manejo do Esterco Líquido de Suínos e sua Utilização na Adubação do Milho., Embrapa., Circular técnica No. 25., 1997.
- Konzen E. A. y Cordoval de Barros L. Lagoas de Estabilização Natural para Armazenamento de Dejetos Líquidos Suínos., Embrapa., Sete Lagoas, MG., Documentos No. 9., 1997.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural - Unidad de Gestión Ambiental. Gestión y Desarrollo Sostenible Agropecuario y Rural. Aproximación para la formulación de una política agropecuaria sostenible. Santa Fé de Bogotá, Enero de 1998
- National Pork Producers Council (NPPC). Environmental Assured. Manure Storage and Treatment Alternatives Module. 1996.
- Ohio State University. OHIO Livestock. Manure and wastewater management guide. The Ohio State University, 1992
- Olaya, J.M., Rincón, M.C., "Estudio de los métodos de degradación de residuos porcícolas y caracterización físico-química del afluente a una planta de tratamiento". Proyecto de grado. Ingeniería Química. Universidad Nacional de Colombia. Santa Fé de Bogotá, 1996.
- Primer Seminario Nacional de Impacto Ambiental en Proyectos Agrícolas y Energéticos. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía. 1994
- Romero R. J. A., Acuiquímica., Escuela Colombiana de Ingeniería., Santa Fé de Bogotá, 1996 [A].
- Romero R. J. A., Acui purificación., Escuela Colombiana de Ingeniería. Santa Fé de Bogotá, 1994 [B].
- Romero R. J. A., Acuitratamiento por Lagunas de Estabilización. Escuela Colombiana de Ingeniería. Santa Fé de Bogotá, 1994 [C].
- Sastoque, J. E., «El espíritu de la Norma Jurídica en el Derecho Ambiental». (Conferencia). Abogado Subdirección Jurídica CAR. Bogotá, 2000
- Zapata C. A. Utilización del Biogás para la generación de electricidad. Conferencia presentada durante el taller internacional FAO-CIPAV " Análisis y evaluación de tecnologías promisorias como estrategias que promuevan la integración y optimización del uso de recursos animales en sistemas agrosilvopecuarios". El Dovio Valle del Cauca, Colombia, Febrero 24 al 27 de 1998.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	3
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1 TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES MEDIANTE LAGUNAS	5
2.1.1 CRITERIOS DE DISEÑO	5
2.1.2 LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN	8
2.1.2.1 LAGUNAS AERÓBICAS	8
2.1.2.2 LAGUNAS FACULTATIVAS	8
2.1.2.3 LAGUNAS DE MADURACIÓN	9
2.1.2.4 LAGUNAS ANAERÓBICAS	10
2.1.3 CONSTRUCCIÓN DE LAGUNAS	13
2.1.4. ARRANQUE DE LAGUNAS	15
2.1.5 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	16
2.1.6 CONTROL DE LAS LAGUNAS	17
2.2 DIGESTIÓN ANAERÓBICA	20
2.2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS FERMENTADORES ANAERÓBICOS	21
2.2.1.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y REPARACIÓN	22
2.2.1.2 PROBLEMAS COMUNES DE OPERACIÓN Y FUNCIONAMIENTO	23
2.2.2 USO DEL BIOGÁS Y DEL EFLUENTE DE UN SISTEMA DE FERMENTACIÓN ANAERÓBICO	23
2.3 SEPARACIÓN SÓLIDO-LÍQUIDO	24
2.3.1 SEDIMENTADORES	25
2.3.1.1 TIPOS DE SEDIMENTACIÓN	25

	Pág.
2.3.1.2 CRITERIOS DE DISEÑO	26
2.3.2 FILTRACIÓN	27
2.3.2.1 DESCRIPCIÓN DE LA FILTRACIÓN	27
2.3.2.2 MECANISMO DE REMOCIÓN	27
2.4 FERTILIZACIÓN	28
2.4.1 APLICACIÓN DE NUTRIENTES	29
2.4.2 RETENCIÓN DE NUTRIENTES EN EL SUELO	31
2.4.3 CARACTERÍSTICAS DEL SUELO PARA APLICACIÓN DE AGUAS RESIDUALES POR LA MODALIDAD DE RIEGO	33
2.4.4 CONTAMINACIÓN POR ACTIVIDADES GANADERAS DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS	34
2.5 CONTROL DE OLORES	35
2.5.1 FUENTES DE OLORES	36
2.5.2 SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO PARA REDUCCIÓN DE OLORES	37
2.5.3 PRODUCTOS COMERCIALES PARA EL CONTROL DE OLORES	38
3. METODOLOGÍA	41
3.1 DISEÑO DE LA MUESTRA	41
3.2 INSTRUMENTO PARA OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN PRIMARIA	42
3.2.1 PRUEBAS FÍSICO-QUÍMICAS	42
4. RESULTADOS	47
4.1 ENCUESTA	47
4.1.1 TIPO DE EXPLOTACIONES	47
4.1.2 TAMAÑO DE LAS EXPLOTACIONES	47
4.1.3 ANTIGÜEDAD DE LA ACTIVIDAD PORCÍCOLA	49
4.1.4 ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO ANIMAL	50
4.1.5 INFRAESTRUCTURA DE LOS CORRALES	51

4.1.6	OPERACIONES DE LIMPIEZA	51
4.1.7	TIPO DE ALIMENTACIÓN	54
4.2	ALMACENAMIENTO Y TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA PORCÍCOLA	55
4.2.1	ALMACENAMIENTO	55
4.2.2	SISTEMAS DE TRATAMIENTO	56
4.2.3	TIPOS DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO	57
4.2.4	RELACIÓN ENTRE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO Y EL TAMAÑO DE LA GRANJA	58
4.2.5	DISPOSICIÓN FINAL DEL AGUA RESIDUAL SIN TRATAMIENTO	61
4.2.6	DISPOSICIÓN FINAL DEL EFLUENTE POSTERIOR A UN TRATAMIENTO	62
4.3	MANEJO DE LA MORTALIDAD	63
4.4	MANEJO DE OTROS RESIDUOS	64
4.5	FERTILIZACIÓN DE CULTIVOS	65
4.6	SEPARACIÓN DE SÓLIDOS	66
4.7	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS AGUAS RESIDUALES	67
4.7.1	pH	68
4.7.2	DQO	68
4.7.3	DBO	69
4.7.4	SÓLIDOS TOTALES	70
4.7.5	SÓLIDOS VOLÁTILES	71
4.7.6	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	72
4.7.7	SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES	73
4.7.8	SÓLIDOS SEDIMENTABLES	74
4.7.9	NITRÓGENO TOTAL KJENDAHL	75
4.7.10	NITRÓGENO AMONACAL	76

	Pág.
4.7.11 NITRATOS	77
4.7.12 FÓSFORO	78
4.8 CARGAS VERTIDAS	79
4.9 ANÁLISIS DE LAS EFICIENCIAS DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO	85
4.9.1 SEDIMENTACIÓN	112
4.9.2 CRIBADO	88
4.9.3 DIGESTION ANAEROBIA	90
4.9.4 SISTEMA COMBINADO DE SEDIMENTACIÓN Y DIGESTIÓN ANAEROBIA	96
4.9.5 SISTEMA COMBINADO DE BIODIGESTOR TIPO TAIWANES Y LAGUNAS DE OXIDACIÓN	97
4.9.6 OTRAS ALTERNATIVAS	99
4.10 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS	102
5 LEGISLACIÓN AMBIENTAL	105
6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	109
BIBLIOGRAFÍA	113

AGRADECIMIENTOS

Los Investigadores agradecen la colaboración y participación de las siguientes entidades, quienes nos apoyaron en el desplazamiento a las diferentes regiones y granjas porcícolas:

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR Regional Fusagasugá

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR Regional Girardot

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR Regional Zipaquirá

Corporación Autónoma Regional del Chivor, CORPOCHIVOR

Corporación Autónoma Regional del Tolima, CORTOLIMA

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, CVC

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, CORPOICA - Manizales

Solla S. A. - Bucaramanga

Y a todos aquellos productores que nos facilitaron el acceso a sus granjas.