

# Manejo de Efluentes de Plantas Extractoras

1. Arranque, operación y mantenimiento  
de lagunas de estabilización



## **¿Qué es CENIPALMA?**

El centro de investigación en palma de aceite- CENIPALMA-, fue creado por la federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite - FEDEPALMA-, inició actividades en enero de 1991 y de él son miembros los afiliados de la federación. Tiene como objetivo primordial, buscar soluciones a problemas tecnológicos que pueden afectar la estabilidad de las empresas dedicadas al cultivo de la Palma de Aceite.

Realiza programas de investigación en palma de aceite, su cultivo, manejo y aprovechamiento, busca ofrecer una permanente actualización tecnológica, y la adaptación de tecnologías nacionales e internacionales.

Para la difusión de los conocimientos generados por CENIPALMA, se realizan cursos, talleres, días de campo y publicaciones. Además, mantiene convenios de cooperación con otras entidades del gobierno, privadas y universidades.

### **MIEMBROS JUNTA DIRECTIVA 1995 - 1996**

#### **PRESIDENTE**

Jorge Ortiz Mendez

#### **VICEPRESIDENTE**

Ricardo Buenaventura Pineda

#### **Miembros Palmicultores**

##### **Principales**

Argemiro Reyes Rincón  
Carlos Beltrán Roldán  
Jorge Eduardo Corredor Mejía  
Ricardo Buenaventura Pineda

##### **Suplentes**

Alfonson Dávila Abondano  
Alfredo Lacouture Dangond  
José María Obregón Esguerra  
Guillermo Londoño Gómez

#### **Miembros Especiales**

Jorge Ortiz Mendez  
Armando Samper Gnecco  
Jens Mesa Dishington  
Hernes Angarita Navarro  
Jairo Hernando Arias Puerta

Presidente de FEDEPALMA  
Gerente ICA  
Viceministro de Desarrollo Agropecuario y Pesquero.  
Rep. del Min. de Agricultura y Desarrollo Rural

#### **DIRECTOREJECUTIVO**

Pedro León Gómez Cuervo

---



# **Manejo de Efluentes de Plantas Extractoras de Aceite de Palma**

## **1. Arranque, operación y mantenimiento de lagunas de estabilización**

**JESUS ALBERTO GARCIA NUÑEZ**

Ingeniero Sanitario



**Centro de Investigación en Palma de Aceite**

**Calle 74 N° 10-85 Tels.: 255 6545 - 345 1640 Fax 255 6531**

**Santafé de Bogotá, D.C.**

---

Esta publicación ha sido financiada con recursos del Fondo de Fomento Palmero.

© Centro de investigación en Palma de Aceite. CENIPALMA.

ISBN 958 - 95000 - 3 - X

500 ejemplares

Coordinación Editorial

Oficina de Comunicaciones de FEDEPALMA

Federación Nal. de Cultivo de Palma de Aceite

Cra. 9 No. 71 - 42 P. 5

Santafé de Bogotá, Colombia, marzo 1996

## **CONTENIDO**

AGRADECIMIENTOS	5
PRESENTACION	7
MARCO TEORICO	9
Efluentes de plantas extractoras de aceite de palma	9
Lagunas de estabilización	10
Parámetros de control	12
CRIA DE INOCULOS	14
Recolección de inóculo y estabilización	14
Adaptación y reproducción del inoóculo	16
DESCRIPCION DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO	19
ARRANQUE, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAGUNAS	22
Arranque, operación y mantenimiento	28
Usos de bacterias comerciales	34
BIBLIOGRAFIA .	36
GLOSARIO	37
ANEXO	40

---

## **AGRADECIMIENTOS**

A los directivos de las plantaciones Palmar de Manavire (San Carlos de Guaroa - Meta), Palmeras de Andalucía (Aracataca), Hacienda las Flores (Codazzi, Cesar) sitios donde se realizaron los ensayos.

A todas las personas que colaboraron y trabajaron en los diferentes ensayos realizados, especialmente a:

Ingeniero Germán Rubiano y a Sulma Patricia Ortíz, con los cuales se desarrollaron los primeros trabajos sobre cría de inóculos y arranque de lagunas en Palmar de Manavire.

Ingeniero Federico Bayona por su colaboración y apoyo en el proyecto sobre lagunas piloto desarrollado en Palmares de Andalucía.

Ingenieros Carlos Mario Peláez y Carlos Lasso en el desarrollo del proyecto sobre recuperación de lagunas desarrollado en la Hacienda Las Flores.

Ingeniero León Darío Uribe por la revisión de este boletín y por compartir junto con el ingeniero Hernán Cuervo sus experiencias del trabajo en Palmas de Casanare.

## ***PRESENTACION***

El tratamiento de las aguas residuales tanto domésticas como industriales ha venido tomando importancia en Colombia en los últimos años. El crecimiento de la población y de las industrias han ocasionado que las fuentes receptoras como las quebradas, los ríos y los mares no sean capaces de absorber por si solos, la contaminación producida por los grandes centros urbanos, causando un desequilibrio en estas fuentes, el cual genera disminución de los niveles del oxígeno presente y la muerte de peces y otras formas de vida. Adicionalmente, algunas descargas industriales vierten compuestos tóxicos y acumulativos que generan intoxicación y se acumulan a lo largo de la cadena alimenticia llegando, inclusive al hombre.

Como consecuencia de lo anterior, se ha hecho necesario el tratamiento de los diversos efluentes de tal manera que al llegar a los cuerpos receptores no ocasionen ningún problema de deterioro o contaminación ambiental. Los efluentes de las plantas extractoras de aceite de palma, generan contaminación, principalmente por la gran cantidad de materia orgánica, sólidos y aceites que poseen. Debido a que la extracción del aceite se hace mediante procesos físicos y mecánicos ya que por diferencias de densidades se separan los sólidos, el agua y el aceite, no se generan elementos tóxicos ni metales pesados en sus

aguas residuales, y el tratamiento se orienta principalmente a estabilizar la materia orgánica presente.

El sector palmero a nivel nacional en los últimos dos años ha venido dando un fuerte impulso a la búsqueda de soluciones a los problemas ambientales. A través de su Centro de Investigación (CENIPALMA) se han desarrollado actividades en la identificación de lodos microbiológicos para el tratamiento de este tipo de desechos y de una metodología de arranque y operación de lagunas de estabilización.

Dado que el diseño y la construcción de un sistema de tratamiento por si solos no constituyen una garantía del funcionamiento y de la calidad del vertimiento final, se ha preparado este Boletín Técnico de Arranque, Operación y Mantenimiento, que recopila la tecnología generada y adaptada por CENIPALMA en éste tema, y que esperamos sirva como material de consulta no solamente para los palmicultores vinculados a la extracción del aceite de palma, sino también para las personas interesadas en el manejo ambiental. Al final de esta publicación se presenta un glosario de términos técnicos para facilitar su lectura.

Este boletín se complementa con otro dirigido al diseño de los sistemas de tratamiento y análisis de laboratorio.

**PEDRO LEON GOMEZ CUERVO**  
**Director Ejecutivo**

## MARCO TEORICO

### EFLUENTES DE PLANTAS EXTRACTORAS DE ACEITE DE PALMA

Dentro del proceso de extracción del aceite de palma se generan varios residuos que dependiendo de su uso se consideran como tales o como subproductos. Uno de estos son los efluentes líquidos que se obtienen como resultado de los procesos de clarificación, esterilización y de palmistería a través de hidrociclones. En la Tabla 1 se presenta una caracterización de estos efluentes.

**Tabla 1.** Caracterización de efluentes de plantas extractoras en Colombia. (Datos de CENIPALMA)\*

PARAMETRO	UNIDAD	RANGO	PROMEDIO
pH	unidad	3,87 - 5,25	4,55
DBO <sub>5</sub>	mg/l	18700 - 175521	48873
TEMPERATURA	°C	53 - 77	67,4
DQO	mg/l	45256 - 232000	79729,6
SÓLIDOS TOTALES (ST)	mg/l	32482 - 111029	45669,8
SÓLIDOS SUSPENDIDOS (SS)	mg/l	19129 - 88258	35105
GRASAS Y ACEITES	mg/L	6480 - 80701	18747,1

\* Promedios de mas de 15 plantas extractoras de aceite de palma durante 2 años.

Adicionalmente, los efluentes de plantas extractoras de aceite de palma, contienen cantidades importantes de nitrógeno, fósforo y potasio los cuales pueden servir de nutrientes en la plantación una vez se haya estabilizado la materia orgánica.

Para dar una idea de la contaminación que puede causar una planta extractora de aceite de palma, esta se relaciona con la contaminación producida por una población equivalente de habitantes. Así, una extractora con una capacidad de 15 toneladas hora de Racimos de Fruta Fresca (RFF) puede producir la contaminación de una población con mas de 180.000 habitantes. La DQO y la  $DBO_5$  de un agua residual doméstica es de aproximadamente 500 y 250 mg/l respectivamente, las cuales si se comparan con los promedios de la tabla anterior para estos dos parámetros (DQO 79730 mg/l y  $DBO_5$  48833 mg/l) se nota la gran cantidad de materia orgánica presente en estos últimos. Es necesario recalcar que no obstante esta gran carga de materia orgánica que producen las extractoras de aceite de palma, no contienen compuestos tóxicos ni metales pesados que puedan causar un tipo de contaminación mas grave.

Para la estabilización de estos efluentes se usan principalmente sistemas de tratamientos de tipo biológico anaeróbicos, dado que el uso de sistemas aeróbicos con inyección de oxígeno sería demasiado costoso. Así mismo, la adición de químicos para floculación y sedimentación además de costosa es muy ineficiente. (Whitthing, 1.979) Se presenta a continuación una descripción general de las principales etapas ocurridas en los procesos de estabilización de la materia orgánica a través de sistemas biológicos anaeróbicos.

## **LAGUNAS DE ESTABILIZACION**

Las lagunas anaerobias son sistemas de tratamiento biológico donde la digestión del material orgánico se realiza por la acción metabólica de bacterias anaerobias. La estabilización se realiza en dos etapas: Inicialmente un grupo de bacterias (bacterias acidogénicas) descomponen las moléculas orgánicas a ácidos grasos

volátiles (AGV), bióxido de carbono, sulfuros, amoníaco y materia celular. En condiciones ambientales favorables, relativas a alcalinidad, pH y concentración de los AGV, un segundo grupo de bacterias (bacterias metanogénicas) utilizan los ácidos orgánicos para producir metano, bióxido de carbono y materia celular.

Si dentro de la laguna los grupos de bacterias no están equilibrados, y el grupo metanogénico no alcanza a consumir los ácidos grasos suministrados por los grupos acidogénicos, se genera un desequilibrio que conlleva a la caída del pH, lo cual produce cantidades apreciables de ácido sulfhídrico que generan malos olores. Adicionalmente, los grupos metanogénicos se inhiben a pH bajos, por tanto, la acumulación de ácidos grasos en el medio es mayor y el sistema termina por acidificarse completamente. Para garantizar un crecimiento bacterial adecuado, la temperatura dentro de las lagunas debe estar por debajo de 40°C. La figura 1 muestra un esquema de la descomposición de la materia orgánica a través de los procesos anaerobios.

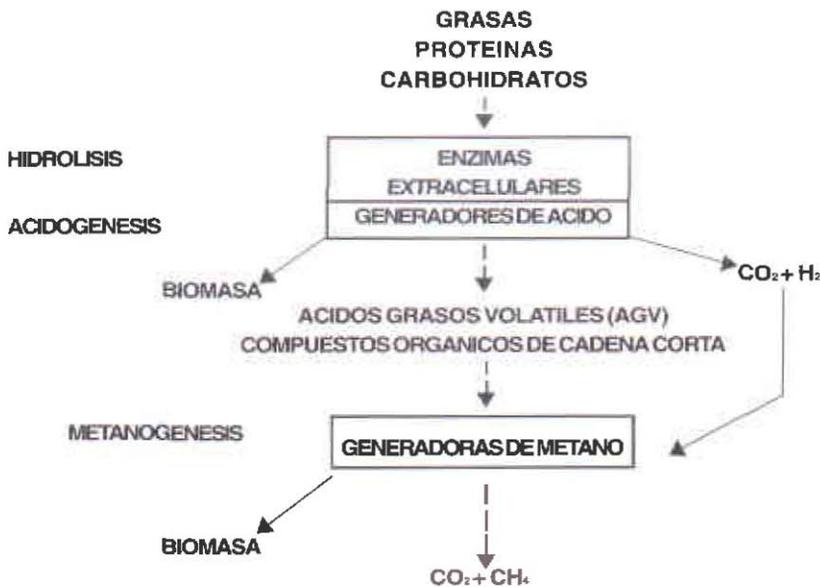


Figura 1. Esquema de la estabilización anaeróbica de la materia orgánica.

## PARAMETROS DE CONTROL

Para controlar el comportamiento de los sistemas anaerobios, es necesario cuantificar principalmente los siguientes parámetros: Demanda Química de Oxígeno (DQO), Acidos Grasos Volátiles (AGV), Relación de alcalinidades o Capacidad Buffer (R), potencial de Hidrógeno (pH), Temperatura (T) y Alcalinidad en sus formas bicarbonática y total.

Otro tipo de control es la carga orgánica (CO), la cual determina la cantidad de materia orgánica aplicada al sistema (ecuación 1) y viene dada en unidades de kg DQO o DBO/día. Al relacionar la CO con el volumen de la laguna o reactor se tiene la carga orgánica volumétrica (COV) (ecuación 2) que determina la cantidad de materia orgánica aplicada por cada metro cúbico de laguna por día (kg DQO/m<sup>3</sup>/día). La COV está relacionada con la concentración de la DQO, el caudal y el volumen del reactor.

$$(1) \quad CO = C \cdot Q$$

$$(2) \quad COV = C \cdot Q / V$$

donde:

CO = Carga orgánica en kg DQO/día.

COV = Carga orgánica volumétrica en kg DQO/m<sup>3</sup>/día.

C = Concentración de DQO en el efluente en kg/m<sup>3</sup>.

Q = Caudal aplicado en m<sup>3</sup>/d.

V = Volumen útil del reactor (laguna) en m<sup>3</sup>.

Las ecuaciones anteriores se relacionan con el tiempo de retención hidráulico, TRH. (ecuación 3 y 4).

$$(3) \quad TRH = V / Q$$

$$(4) \quad COV = C / TRH$$

Otros parámetros de importancia son: la Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ) que da una medida de la materia orgánica biodegradable aeróbicamente, los Sólidos Suspendidos Totales (SST) y los Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV); estos últimos se asocian generalmente con los microorganismos inoculados en las lagunas (biomasa).

## ***CRIA DE INOCULO***

### ***RECOLECCION DE INOCULO Y ESTABILIZACION***

Con el fin de garantizar que los sistemas de tratamientos funcionen adecuadamente, es necesario que exista un grupo de microorganismos capaces de descomponer la materia orgánica presente. Por las características propias de los efluentes de extractoras de aceite de palma, la colonización de estos microorganismos es poco fácil, por lo cual se requiere adaptarlos al desecho y



**FIGURA 2.** *Laguna de tratamiento saturada*

proveerles unas condiciones mínimas para garantizar su establecimiento. En la figura 2 se muestra una laguna saturada de lodos debido, entre otros factores, a que no hubo un grupo de microorganismos capaces de degradar la materia orgánica presente.

Si en la región donde se está desarrollando el proyecto no existen sistemas de tratamientos de efluentes que estén trabajando de manera óptima, de los cuales se pueda conseguir un inóculo adaptado a este tipo de desechos, se requiere criar y adaptar el inóculo. La consecución de éste se debe hacer en sitios donde estén ocurriendo procesos anaerobios, tales como, pozos sépticos, estiércol de vaca, porquinaza y lodos de canal de riego donde se vierten los efluentes de la extractora. El inóculo inicial debe ser de color oscuro y debe presentar en el punto de recolección un burbujeo que indique una actividad metanogénica.

Para iniciar la cría y adaptación del inóculo, se toman inicialmente varias canecas de 55 galones cada una, con 50 litros de inóculos recolectados, complementando un volumen total de 170 litros con agua residual de los florentinos a una concentración de DQO de 1.000 mg/l (con esta concentración de DQO se garantizan condiciones anaerobias dentro de los reactores), previamente neutralizada a pH 7.0 con cal viva en una proporción aproximada de 1 gm/l. El número de canecas (reactores utilizados), depende de la cantidad necesaria de volumen de inóculo para arrancar los sistemas y del tiempo disponible para efectuar la cría y adaptación del inóculo. Siguiendo el procedimiento que se describe a continuación y empezando con 10 canecas se logra al cabo de 3 meses, más de 30 canecas adaptadas, listas para iniciar el arranque en las lagunas anaerobias.

Durante la estabilización de los lodos, en los reactores se controlan principalmente los siguientes parámetros: pH, Temperatura, Relación de Alcalinidades (Capacidad Buffer) y Alcalinidad Bicarbonática. Si el pH desciende de 6.5, se eleva nuevamente con cal viva por encima de 6,8 de acuerdo con la determinación en el laboratorio. La finalización de la estabilización se logra una vez que el pH se mantenga por encima de 6,8 sin adicionar cal, la relación de alcalinidades descienda alrededor de 0.4 y se note un aumento en la alcalinidad.

Estas determinaciones se hacen diariamente y durante esta fase no se alimentan los reactores con ningún sustrato. El tiempo que demora la estabilización es de 30 días aproximadamente, dependiendo de la calidad del inóculo inicial.

### **ADAPTACION Y REPRODUCCION DEL INOCULO**

Una vez cumplida la fase de estabilización, se continúa con la adaptación y reproducción del inóculo. Se pretende alimentar exclusivamente a los microorganismos en los reactores con agua residual proveniente de la extractora (sustrato), de tal forma, que aquellos que sobreviven son los que se adaptaron al sustrato. La alimentación se inicia con cargas orgánicas volumétricas bajas (COV), alrededor de 0.25 Kg DQO/m<sup>3</sup>/día. Se simula un tiempo de retención hidráulico (TRH) de aproximadamente 20 días, que es el tiempo promedio de trabajo de una laguna anaerobia metanogénica. Los principales parámetros que se deben controlar son: Capacidad Buffer R, pH y alcalinidad bicarbonática (ABV).

Los criterios de control usados son:

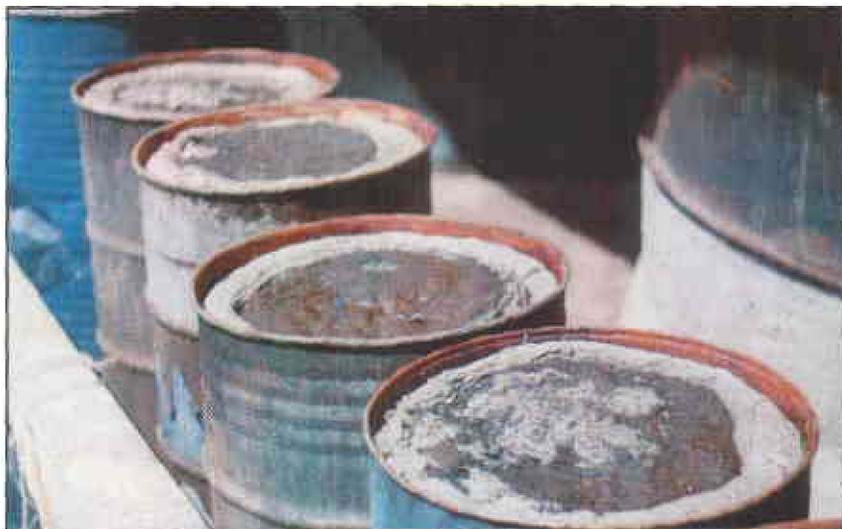
pH > 6,5

R < 0.30

ABV Debe notarse un aumento progresivo con valores superiores a 1.000mg/l.

Las alimentaciones (sustrato) de agua residual neutralizada a pH aproximadamente 7, se hacen cada dos días desplazando un volumen de 17 litros de agua y adicionando este mismo volumen de sustrato a una concentración de 5.000 mg/l de DQO, de tal forma que se logre la COV de 0,25 Kg DQO/m<sup>3</sup>/día. El posterior aumento de la COV se hace, por tanto, con incremento en la concentración de la DQO del sustrato, más no del volumen adicionado. En el anexo 1 se presenta un ejemplo de estos cálculos.

El control de los parámetros mencionados se hace diariamente. Si R es menor de 0.30 y el pH es mayor de 6.5 se incrementa la COV en la próxima alimentación en un 20%. Si R es de aproximadamente de 0.30 y el pH oscila alrededor de 6.5 se repite la alimentación con igual COV. Si R es mayor de 0.30, se suspende la alimentación hasta que el valor de este parámetro sea inferior a 0.30. Si el pH desciende de 6.0 se debe alcalinizar dentro de la caneca con cal hasta un pH de 7 aproximadamente. En la medida en que la alcalinidad bicarbonática Verdadera (ABV) aumente por encima de 700 mg/l se empieza a disminuir progresivamente la cal. De acuerdo a los proyectos realizados por CENIPALMA, los reactores resisten una carga máxima de 5 kg DQO/m<sup>3</sup>/día. En la figura 3 se presenta reactores con inóculos en el inicio de la adaptación, y en la figura 4 se presenta un reactor completamente adaptado.



**FIGURA 3.** Reactores al inicio de la adaptación

Con el volumen desplazado en cada alimentación de los reactores iniciales, se llenan nuevas canecas, en las cuales, al cabo de una semana de completar su volumen, se ejecuta un proceso de arranque similar al expuesto.



**FIGURA 4.** Reactor completamente adaptado

## DESCRIPCION DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO

Un esquema general de un sistema de tratamiento de efluentes de plantas extractoras de aceite de palma se muestra en la figura 5. A continuación se hace una breve descripción de los diferentes componentes del sistema.

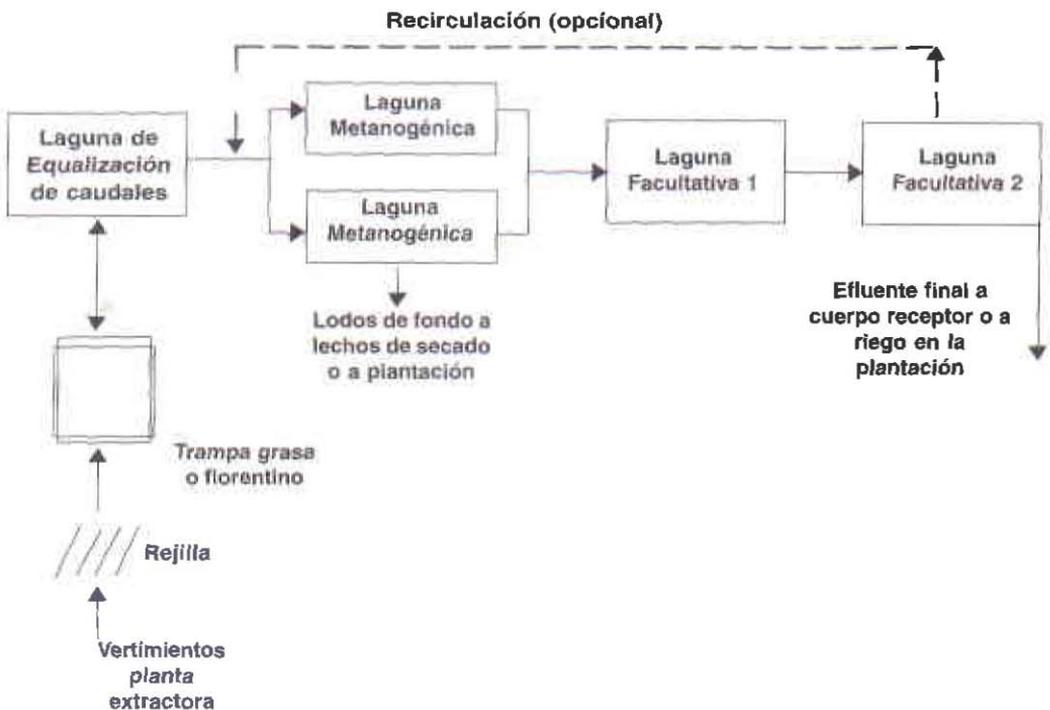


FIGURA 5. Diagrama de flujo de un sistema de tratamiento de aguas residuales de una planta extractora de aceite de palma

### ***Tratamientos preliminares***

Hacen parte de los tratamientos preliminares, las rejillas y el florentino; este último hace las veces de desarenador. En las rejillas se remueven partículas voluminosas como, palos, frutos y basuras en general que pueden causar problemas en el resto del conjunto. En las aguas que llegan al florentino, el contenido de aceite no debe sobrepasar los 8.000 mg/l, siempre y cuando se ejecute un buen control del proceso dentro de la planta extractora.

### ***Laguna de desaceitado, ecualización de caudales y enfriamiento***

Esta laguna como su nombre lo indica cumple con la funciones de enfriar el efluente desde 70°C hasta una temperatura menor de 40°C con el fin de garantizar el trabajo de los microorganismos, homogeniza los caudales que salen del proceso durante el día y sirve para recuperar aceite ácido. Esta recuperación de aceite ácido, podría compensar en parte, los costos directos de mantenimiento del sistema. El ácido se vende como materia prima para fabricar jabones.

En esta laguna se recomienda no efectuar un arranque con microorganismos adaptados, ya que por sus dimensiones no resistiría a la gran cantidad de materia orgánica que le entra. Se busca que con el tiempo de residencia se pueda recuperar aceite ácido.

### ***Lagunas Anaerobias Metanogénicas***

En estas lagunas, se desarrolla la mayor cantidad de remoción de la materia orgánica que entra al sistema a través de procesos que trabajan sin oxígeno. Es aquí, por tanto, donde se ejecutan las labores de arranque con inóculos adaptados a este tipo de desechos. El efluente de esta laguna entra a las lagunas

facultativas llevando consigo el inóculo para el resto del sistema. Por su gran actividad metanogénica, se forma en el fondo de la misma un lodo estabilizado compuesto en su mayoría por células muertas, el cual se puede usar como fertilizante en la plantación. Se debe prever un sistema de retención de los sólidos con el fin de no saturar las lagunas siguientes. La forma de evacuación de los sólidos de fondo se explica en el capítulo sobre arranque, operación y control.

### ***Lechos de secado***

Dada la acumulación de sólidos en el fondo de las lagunas metanogénicas debido a los procesos de estabilización de la materia orgánica, se prevé el sitio donde se pueden evacuar y secar para luego ser transportados a la plantación. Los sólidos acuosos llegan a los lechos de secado a través de una malla de tuberías que se encuentran en el fondo de las lagunas metanogénicas. En los lechos de secado, el agua se evapora y percola por los estratos de arena y grava quedando un sólido que puede ser dispuesto en la plantación como fertilizante. En otros casos, el drenaje de los sólidos de fondo de las lagunas metanogénicas se hace por bombas de lodos directamente a la plantación.

### ***Lagunas Facultativas***

El efluente de las lagunas anaerobias pasa a un sistema de lagunas facultativas que pueden ser dos o tres trabajando en serie. La función principal de éstas es la remoción de la carga orgánica que escapó a tratamiento en las lagunas anaerobias. Las lagunas facultativas constituyen un sistema de tratamiento biológico natural, con una variedad de procesos como oxidación, sedimentación, hidrólisis, fotosíntesis, nitrificación, digestión anaerobia, transferencia de oxígeno, mezcla, etc.

## **ARRANQUE, OPERACION Y CONTROL DE LAGUNAS**

Las labores de operación y control de un sistema de tratamiento diseñado técnicamente, deben ser sencillas y mínimas. No obstante, se requiere de especial cuidado principalmente en las etapas de arranque. Se ha visto como en algunos sistemas, a pesar de cumplir con la capacidad de las lagunas para el desecho tratado, su funcionamiento es nulo debido a la falta de un arranque y control serios que hubieran permitido tomar los correctivos a tiempo.

### **ARRANQUE**

Las lagunas de estabilización recién construidas no están capacitadas para recibir cargas orgánicas altas pues el efluente contiene muy pocos microorganismos naturales que puedan empezar la degradación debido a que durante el procesamiento de los frutos se usan temperaturas y presiones elevadas que los inhiben. Por tanto, se debe proceder en la primera fase con aumentos graduales de carga orgánica (efluentes).

***El procedimiento de arranque es el siguiente:***

- Llenar las lagunas anaerobias y facultativas con agua superficial de los canales

de riego, por medio de bombeo con la mayor capacidad de flujo posible. El tiempo de llenado depende del caudal aportado por las bombas. La laguna de ecualización de caudales no requiere llenarse con aguas de canal. En esta fase de llenado se pueden evaluar condiciones de impermeabilización, evaporación, resistencia a carga hidráulica en los taludes, funcionamiento hidráulico, sistema de evacuación de lodos, etc.

- Proceder a bombear aguas de la extractora, neutralizadas a un pH de aproximadamente 7, de tal forma que se alcancen concentraciones de DQO dentro de la laguna metanogénica entre los 2.000 y los 5.000 mg/l, para que se creen condiciones anaerobias antes de agregar el inóculo. Para neutralizar 1m<sup>3</sup> de agua efluentes de florentinos se requiere aproximadamente 1 kg de cal viva. No obstante, se recomienda efectuar una curva de neutralización dependiendo de la acidez de las aguas y de la calidad de la cal que se va a emplear. No se debe usar cal agrícola pues nunca se podrá alcanzar el pH deseado.
- Inocular con lodos adaptados en canecas (reactores) o traídos de lagunas en óptimo funcionamiento, principalmente en el área de entrada a la laguna anaerobia. Esta operación se puede realizar desde la parte superior del talud con descarga del cultivo bacterial en la parte superficial del nivel del agua y a diferentes profundidades de la laguna. Se han logrado buenos resultados agregando entre 1.25 y 1.5 litros de inóculo adaptado por metro cúbico de laguna. Obviamente, entre mayor cantidad de inóculo inicial se use mas rápido es el arranque. El limitante del valor que se menciona, es el número de canecas usadas durante la adaptación del inóculo. En la figura 6 se muestra la inoculación de lagunas.

- Se adiciona el efluente de la extractora neutralizada de acuerdo con los reportes del laboratorio con respecto a alcalinidades, capacidad buffer y pH principalmente. Con el resto de flujo que no se adiciona a las lagunas metanogénicas en la etapa de arranque, se va llenando progresivamente la laguna de ecualización de caudales. Si la capacidad buffer (R), es menor de 0.35 hasta 0.30 se debe adicionar el mismo volumen de efluente del día anterior. Si el valor de R es menor de 0.30 se puede incrementar el flujo que llega entre un 10 y un 20% del adicionado el día anterior. Si R es mayor de 0.35 no se le debe adicionar efluentes hasta que el valor haya disminuido por debajo de esta cifra. El valor del pH en esta fase debe ser superior a 6.5, si no es así y R es mayor de 0.35 se debe adicionar cal a la laguna hasta que el pH este por encima de 6.5 de acuerdo a ensayos en el laboratorio. Las alcalinidades, principalmente la bicarbonática (ABV) debe aumentar progresivamente desde valores por debajo de 500 mg/l hasta valores superiores a 1.500 mg/l cuando se haya superado completamente el arranque. En esta fase, el laboratorio juega un papel decisivo. En la figura 7 se muestra una laguna al inicio del arranque.
- Aproximadamente en un período de tres (3) meses se espera alcanzar las condiciones de equilibrio, que permitan obtener un efluente con buenas características para vertimiento.
- De acuerdo con los resultados del laboratorio, la adición de cal se va quitando hasta que el mismo sistema pueda resistir todo el efluente de la extractora pasando por la laguna de ecualización de caudales, es decir, que entrando con un pH de 4.5, las lagunas metanogénicas deben entregarla con un pH superior a 6.5. En la figura 8 se muestra una laguna completamente adaptada. No obstante, es normal que se forme una pequeña capa superficial en la laguna.



FIGURA 6. *Inoculación superficial de lagunas*



FIGURA 7. *Laguna anaerobia al principio del arranque*



**FIGURA 8.** *Laguna completamente adaptada*

### ***¿Es necesario agregar nutrientes?***

A pesar de que la teoría menciona el uso de nutrientes inorgánicos para incrementar la actividad metabólica de los microorganismos, de tal forma que el proceso de estabilización de la materia orgánica sea mas eficiente, experimentalmente se ha demostrado que no es necesaria la adición de Nitrógeno y Fósforo. Además, con la adición de nutrientes, se puede correr el riesgo de causar eutroficación (exceso de nutrientes) en las últimas lagunas formado cantidades de algas de difícil manejo, con la consecuente pérdida de calidad de los efluentes tratados.

### ***Muestreo y frecuencia durante el arranque.***

En la fase de arranque el control del sistema debe ser muy estricto con el fin de lograr las condiciones óptimas de operación en el menor tiempo posible. En la

tabla 2 se muestran los análisis a realizar, los sitios de muestreos y las frecuencias recomendadas.

**Tabla 2.** Sitios de muestreo y frecuencia de la determinación de los parámetros de control durante el arranque, de la laguna metanogénica

PARAMETRO	SITIO DE MUESTREO	FRECUENCIA
pH	Toda la laguna*	Diaria
	Afluente a la laguna	Diaria
Alcalinidad total (ALK)	Toda la laguna	Diaria
Alcalinidad Bicarbonática (ABV)	Toda la laguna	Diaria
Relación de alcalinidades (R)	Toda la laguna	Diaria
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Toda la laguna	2 /semana
	Afluente a la laguna	Una vez por cada incremento de COV
Temperatura	A la entrada de la laguna	Diaria

\* Muestra compuesta

La determinación de los ácidos grasos volátiles (AGV) no se tiene en cuenta, pues con la determinación de la relación de alcalinidades, se mide indirectamente la relación de los AGV presentes de acuerdo a la alcalinidad, obteniéndose un mejor control. La prueba de los AGV presenta muchas probabilidades de error en su determinación. La Demanda Química de Oxígeno a 5 días ( $DBO_5$ ), debido a la demora en su determinación, tampoco se tiene en cuenta. Se ha visto como con la DQO se tiene un buen control sobre el porcentaje de materia orgánica removida.

## **OPERACION Y MANTENIMIENTO**

### ***Tratamientos preliminares***

La operación de los sistemas de tratamientos preliminares se hacen en conjunto con las labores de limpieza de la extractora. Con propósitos de evacuación de los sólidos sedimentados en los florentinos, se recomienda purgarlos y limpiarlos cada 8 o 15 días. La concentración de aceite a la salida de los florentinos, si se tiene un proceso controlado, no debe ser superior a los 8.000 mg/l. Las rejillas deben limpiarse diariamente y de acuerdo a la cantidad de basura presente efectuar la limpieza varias veces durante el día.

### ***Parámetros de control***

En la tabla 3 se presentan los diferentes parámetros de control que deben medirse en todo el sistema de tratamiento.

**Tabla 3.** Sitios de muestreo y frecuencia de la determinación de los parámetros de control durante la operación de las lagunas de estabilización.

PARAMETRO	SITIO DE MUESTREO	FRECUENCIA
pH	Afluente y efluente de cada laguna	3 veces/sem
Temperatura	Afluente y efluente de cada laguna	Diaría
Alcalinidad total (ALT)	Efluente lagunas anaerobias	1 vez/sem
	Efluente lagunas facultativas	3 veces/sem
Alcalinidad bicarbonática (ABV)	Efluente lagunas anaerobias	1 vez/sem
	Efluente lagunas facultativas	3 veces/sem
Relación de alcalinidades (R)	Efluente lagunas anaerobias	1 vez/sem
	Efluente lagunas facultativas	3 veces/sem
Demanda química de oxígeno (DQO)	Efluente tanque de desaceitado	1 vez/mes
	Efluente lagunas anaerobias	1 vez/sem
	Efluente lagunas facultativas	1 vez/ mes
Sólidos totales(S.T)	Efluente lagunas anaerobias	1 vez/mes
	Efluente lagunas facultativas	1 vez/sem
Sólidos disueltos (S.D)	Efluente lagunas facultativas	1 vez/mes
Perfil de sólidos	Laguna de desaceitado	2 veces/año
	Lagunas Anaerobias	2 veces/año
	Lagunas facultativas	1 vez/año
Caracterización completa en un laboratorio acreditado por la entidad reguladora que incluya pH, ST, SS, SD, SF, ALT, DBO <sub>5</sub> , DQO, N-Total, N-NH <sub>4</sub> P-Total, S-total	Efluente final al cuerpo receptor	2 veces/año

### ***Laguna de enfriamiento, ecualización de caudales y desaceitado.***

La operación y mantenimiento de esta laguna consiste en la limpieza de los canales de interconexión o el sistema de bombeo si existe. En la laguna de enfriamiento y ecualización de caudales, se recupera aceite ácido taponando la salida de la misma y provocando el desborde de la capa de aceite superficial a unos fosos construidos para tal fin. La medición del perfil de sólidos recomendado en la tabla 3, se sugiere realizar porque ésta laguna actúa como un gran desarenador en el cual se precipitan principalmente las arenas contenidas en el efluente de planta extractora.

### ***Lagunas anaerobias***

Si el diseño ha sido adecuado y se ha efectuado un buen arranque se espera que las lagunas anaerobias no presenten mayores inconvenientes, no obstante, se mencionan a continuación algunas acciones correctivas que deben tenerse en cuenta.

El valor del pH debe ser superior a 6.5. En caso que se disminuya, el flujo se debe pasar directo hasta las lagunas facultativas o si se tiene dos lagunas anaerobias, se debe evaluar si se puede sacar la que presente el evento de funcionamiento y trabajar todo el flujo con la otra. Si el pH continúa bajo, a pesar de sacar la laguna de funcionamiento, se debe agregar cal hasta alcanzar el pH superior a 6.8.

La Relación de alcalinidades (R) o capacidad buffer durante la operación, debe ser menor de 0.35. Si se llega a aumentar se deben seguir las indicaciones mencionadas arriba para el pH. La alcalinidad total mayor de 2.000 mg/l y la alcalinidad bicarbonática superior a los 1.500 mg/l indican un sistema anaerobio en buen estado.

De los parámetros mencionados en la tabla 3, los sólidos en sus diversas formas relacionados con los otros parámetros indican la purga de lodos estabilizados del fondo de la laguna. Si los sólidos totales han ido aumentando progresivamente y llega a valores superiores a los 10.000 mg/l, se requiere purgar la laguna. Generalmente, este aumento en los sólidos conlleva a un aumento en la DQO del efluente de la laguna metanogénica y a una disminución de las alcalinidades. No obstante, un análisis de la eficiencia y del comportamiento de todas las variables de la laguna indicarán al operario el mejor momento de efectuar la purga. Normalmente la DQO a la salida de las lagunas metanogénicas es menor de 10.000 mg/l.

La recirculación del agua desde la última laguna facultativa a las lagunas anaeróbicas es una buena práctica: ayuda a mantener el pH por encima de 7; inocula microorganismos adaptados y ayuda a controlar olores en eventos esporádicos.

Se debe evitar el paso de sólidos superficiales desde las lagunas anaerobias a las facultativas, para lo cual, se colocan baffles desnatadores a la salida de las primeras.

La determinación del perfil de lodos en las lagunas metanogénicas sirve como indicativo para efectuar la purga de lodos y verificar que los lodos evacuados fueron suficientes y no están concentrados en alguna parte de la laguna ocasionando una disminución en el tiempo de retención hidráulico. La purga de los lodos estabilizados del fondo de las lagunas metanogénicas se puede hacer a lechos de secado si en el diseño original se previó un múltiple recolector en el fondo de las mismas. Se han presentado algunos problemas operarios en el

manejo de las purgas a través del múltiple recolector. Una buena opción de efectuar las purgas se puede hacer con una bomba sumergible y una balsa haciendo un barrido del área del fondo de la laguna. En caso que no se cuente con los lechos de secado, la purga se puede enviar a un lote acondicionando cercano a las lagunas para depositarlos. Se ha visto que el contenido de estos lodos sirve como abono para la palma. En la tabla 4 se presenta una caracterización de las composiciones de nutrientes con base en la humedad. Estos lodos pueden ser aplicados para ayudar a la fertilización en dosis de 5 a 10 cm como equivalente de lluvias año.

**Tabla 4.** *Nutrientes en base húmeda de los lodos de fondo de lagunas anaerobias.*

*Datos de cortesía de Palmas de Casanare*

PARAMETRO	VALOR*
PH	7.5
N	1.400
P	400
K	1.800
Mg	650
Ca	500

\* Todos los datos en Mg/l excepto pH

### **Lagunas facultativas**

En la tabla 3 se presenta la rutina de control para estas lagunas. Regularmente, estas lagunas si están precedidas de un buen sistema anaerobio no deben presentar problemas. La determinación del perfil de lodos en estas lagunas se recomienda como un sistema de verificación del control en los sólidos de fondo

de las lagunas. Se deben controlar las espumas o natas que evitan el paso de la luz y por tanto el proceso de fotosíntesis. La DQO en el efluente final de la última laguna facultativa debe ser menor de 1.000 mg/l. Los sólidos suspendidos deben ser menores de 500 mg/l. En estas lagunas es normal que se encuentren valores de pH alrededor de 8. En la figura 9 se muestra una laguna facultativa.



**FIGURA 9 .** *Laguna facultativa*

### ***Labores generales***

Se deben realizar periódicamente en todo el sistema de tratamiento, labores de mantenimiento de taludes, poda de pastos, mantenimiento de conducciones y obras de arte, y mantenimiento del sistema de bombeo, entre otros. El control de las malezas en los taludes interiores de las lagunas debe hacerse en lo posible en forma manual o mecánica y evitar que estas caigan al agua. Para controlar

larvas de insectos, se puede variar los niveles de las lagunas de tal forma que las larvas adheridas a los taludes interiores queden sumergidas para que se ahoguen o queden completamente descubiertas para que se deshidraten; los niveles de las lagunas se controlan desde las estructuras de salida de cada laguna.

### **USOS DE BACTERIAS COMERCIALES**

Una posibilidad para el tratamiento de los efluentes de extractoras de aceite de palma es el uso de bacterias comerciales. Para cada caso en particular, se debe evaluar desde el punto de vista económico la conveniencia del empleo de estos microorganismos; de acuerdo a la información suministrada por sus proveedores, debe agregarse tanto en la fase de arranque como en toda la operación del sistema.

Se han encontrado buenas aplicaciones de estas bacterias en la recuperación de sistemas, para luego aplicar los inóculos nativos adaptados y efectuar un arranque y operación como los descritos arriba. En las experiencias realizadas por CENIPALMA, se ha encontrado que no existe incompatibilidad entre las bacterias nativas y las comerciales. En la figura 10 se muestra la forma de aplicación de bacterias comerciales, en la recuperación de lagunas.



**FIGURA 10.** *Aplicación de bacterias comerciales en la recuperación de la laguna*

## BIBLIOGRAFIA

- CUERVO F., H; 1993. Tratamientos de efluentes en extractoras de aceite. CENIPALMA. En: Algunos aspectos del procesamiento de aceite de palma. Memorias del curso. CENIPALMA. Bucaramanga. p. 88 - 90.
- GARCÍA N., J.A. 1993. Estado actual del manejo de efluentes en Colombia. Palmas (Colombia) v 14, Número Especial, p 141 - 147.
1995. Manejo ambiental de los efluentes y emisiones de las plantas extractoras. Palmas (Colombia) v 20. Número Especial, 163 - 170.
- GARRIDO A., J. 1994. Evaluación de lagunas de estabilización para el tratamiento de efluentes en una extractora de aceite de palma. En: Simposio Colombiano sobre Digestión Anaerobia.1º, Santafé de Bogotá, Memorias. Universidad de los Andes. Abril 7 - 8 de 1994.
- ORTIZ, M.S.P. 1994. Adaptación y siembra de lodos anaerobios para el tratamiento de efluentes de plantas extractoras de aceite de palma. Pontificia Universidad Javeriana. Santafé de Bogotá. 203 p. Tesis de Biólogo
- ROJAS CH., O. 1994. Evaluación de las condiciones de operación, manejo y control de reactores anaerobios de Manto de Lodos y Flujo Ascendente, inoculados con lodo granular floculento. En Simposio Colombiano sobre Digestión Anaerobia.1º, Santafé de Bogotá Memorias. Universidad de los Andes. Abril 7 - 8 de 1994.
- SHELLNKOUT, A. 1990. Características de procesos y tecnologías anaerobias. . En: Operación y Mantenimiento de Sistemas Anaerobio para el tratamiento de Aguas Residuales. s.l. : s.n. 1990?. Seminario Latinoamericano de Operación y Mantenimiento de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. Memorias. Cali. 1990. p. 2 - 3.
- URIBE M., L.D.; 1993. Lagunas de estabilización (L.E) en el tratamiento de los efluentes de palma. En CENIPALMA: Algunos aspectos del procesamiento de aceite de palma. Memorias del curso. CENIPALMA. 1993. Bucaramanga. p. 91 - 97.
- WHITTING, D. A. 1979. Treatment technology for the palm oil mill effluent. In. Symposium on recent development in effluent treatment technology. Proceedings University saind Malaysia, Penang
- ZEGERS, F. 1987. Microbiología. En: Curso sobre arranque y operación de Sistemas de Flujo Ascendente con Manto de Lodos -UASB - Cali S.F. Memorias del Curso.1987. Universidad Agrícola de Wageningen (Holanda), - CVC -, Universidad del Valle, Cali (Colombia)

## GLOSARIO

**Acimatación:** Es el término utilizado para considerar que un grupo determinado de microorganismos está metabólicamente activo para biodegradar un sustrato específico.

**Actividad fotosintética:** Es la actividad en la cual un grupo de microorganismos realizan la conversión de la energía en forma de luz solar a energía química. Los organismos fotosintéticos son las algas y en una muy baja proporción algunas bacterias autótrofas.

**Actividad metanogénica:** Es la cantidad de sustrato convertido a metano por unidad de todo y por unidad de tiempo en un proceso anaerobio.

**Afluente:** Corriente o flujo de agua residual que entra a un sistema de tratamiento.

**Capacidad Buffer o relación de alcalinidades (R):** Es la relación existente entre los ácidos grasos volátiles (AGV) y la alcalinidad presente en un sistema anaerobio.

**Carga Orgánica (CO):** Se considera como la concentración del contaminante (expresado como DQO o DBO) multiplicada por el caudal aplicado. Es el término utilizado para definir la concentración de compuestos orgánicos en proporción con el caudal entrante a un sistema. Se expresa en Kg DBO o DQO/día.

**Carga Orgánica Volumétrica (COV):** Se considera como la concentración del contaminante (expresado como DQO o DBO) multiplicada por el caudal aplicado y dividido sobre el volumen de la laguna. Es el término utilizado para definir la concentración de compuestos orgánicos en un volumen de la laguna por día. Se expresa en Kg DQO/ m<sup>3</sup>/día.

**Caudal:** Es la relación que expresa la cantidad volumétrica de un flujo en la unidad de tiempo.

**Cortos circuitos:** Se denomina así al efecto que se produce cuando un flujo dentro de un sistema no tiene un recorrido uniforme, por lo cual su tiempo de retención es menor al diseñado.

**Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):** Esta prueba es una medida de la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para oxidar la materia orgánica biodegradable.

**Demanda Química de Oxígeno (DQO):** Esta prueba es una medida del oxígeno requerido y equivalente de la materia orgánica que puede oxidarse en presencia de un agente químico fuertemente oxidante en medio ácido. Incluye

materia orgánica biodegradable y no biodegradable.

**Digestión anaerobia:** Proceso mediante el cual se produce la descomposición de la materia orgánica en ausencia de oxígeno molecular, por acción de la actividad biológica de microorganismos específicos.

**Eficiencia de Remoción:** Se denomina así a la capacidad de un sistema de tratamiento para remover una carga contaminante (DQO, DBO, ST, etc.), es expresada en porcentaje.

**Efluente:** Corriente o flujo de agua residual que sale de un sistema de tratamiento, o que sale de un sistema de producción.

**Enzimas:** Son catalizadores orgánicos producidos por la célula bacterial, son esenciales para las diferentes reacciones implicadas en la biodegradación de un sustrato. Las enzimas son proteínas o proteínas combinadas que como catalizadores pueden aumentar la velocidad de las reacciones bioquímicas sin alterarse; una de las características especiales de éstas es su especificidad a un sustrato determinado.

**Estabilización:** Es el proceso biológico en el que la materia orgánica se transforma a productos estables, generalmente por conversión en gases y tejido celular.

**Estabilización de lodos:** Es el proceso biológico en el que la materia orgánica de los lodos producidos en el tratamiento del agua residual se estabiliza, generalmente por conversión de gases y tejido celular. Este proceso puede ser aerobio o anaerobio.

**Inóculo Bacterial:** Se denomina así a un cultivo bacterial específico al cual se le ha especializado su actividad metabólica para la biodegradación de un sustrato en particular.

**Neutralización:** Es la interacción de soluciones que contienen iones, hidrógeno o hidroxilos activos para formar agua y sales neutras. Se puede neutralizar a condiciones neutras o a un pH específico.

**pH:** Es el potencial de los iones hidrónico. Determina la presencia de acidez o alcalinidad de un agua.

**Procesos aerobios:** Son aquellos métodos de tratamiento en los cuales se consigue la eliminación de la materia orgánica por actividad biológica en presencia de oxígeno disuelto.

**Procesos anaerobios:** Estos procesos de tratamiento permiten la remoción de materia orgánica por actividad biológica en ausencia de oxígeno.

**Procesos facultativos:** Estos procesos permiten la eliminación de la materia orgánica por actividad biológica en presencia o ausencia de oxígeno. Estos organismos se conocen como facultativos.

**Puntos muertos:** Se denomina así al efecto que se genera al permanecer parte del sistema fuera del flujo normal.

**Sedimentación:** Es la separación de las partículas suspendidas más pesadas que el agua, mediante la acción de la gravedad.

**Sólidos Suspendidos (SS):** Es aquel material que permanece en suspensión en el agua residual y se determina como la cantidad de material retenido después de realizada la filtración de una muestra. Hacen parte de los sólidos suspendidos el material sedimentable que es de fácil remoción en los sedimentadores.

**Sólidos Totales (ST):** Es la cantidad de materia que permanece como residuo después de una evaporación entre 103 y 105°C., de estos hacen parte los sólidos suspendidos y disueltos.

**Sustrato:** Es el término utilizado para representar la materia orgánica o los nutrientes que sufren una conversión o que pueden constituir un factor limitante en el tratamiento biológico.

**Tiempo de retención hidráulico:** Es el tiempo durante el cual una parte volumétrica de un fluido permanece en un sistema. *Es expresado como la relación entre el volumen de la estructura y el caudal.*

**Tratamientos preliminares:** Son aquellos que permiten eliminar de un cuerpo de agua objetos voluminosos y abrasivos como estopas, plásticos, arena, cáscara, etc., permitiendo así, una mayor efectividad en tratamientos posteriores.

**Tratamientos primarios:** Son sistemas que permiten remover materiales que pueden sedimentar o que pueden flotar.

**Tratamientos Secundarios:** El objeto de este tratamiento es remover la DBO soluble que escapa a tratamientos primarios, además de remover cantidades adicionales de sólidos suspendidos, por medio de procesos físico-químicos y/o biológicos.

## **ANEXO. EJEMPLO DEL AUMENTO DE COV EN LA ALIMENTACION DE LOS REACTORES**

COV = 0,25 Kg DQO/m<sup>3</sup>/día. (Carga deseada)

TRH = 20 días (semejante al TRH de la laguna anaerobia)

Q = 17 litros cada dos días = 8,5 litros/día

Volumen del reactor = 0.170 m<sup>3</sup>

Despejando C, concentración de DQO, de la ecuación 1.

$$COV = \frac{Q \times C}{V}$$

$$C = \frac{COV \times V}{Q} = \frac{0.25 \times 0.170}{0.0085 \text{ m}^3/\text{día}}$$

$$C = 5.0 \text{ Kg DQO/m}^3 = 5.000 \text{ mg/l}$$

De igual forma para una COV 0.5 Kg DQO/m<sup>3</sup>/día,  
la concentración de DQO sería de 10.000 mg/l.

### **MIEMBROS DE COMITE DE PLANTAS EXTRACTORAS**

Carlos Beltrán Roldán

*Presidente*

Antonio Cadena Gómez

Jorge Eduardo Corredor Mejía

León Darío Uribe Mesa

Germán Rubiano

Carlos Mario Peláez

José Miguel Díaz

### **MIEMBROS COMITE ASESOR AGRONOMICO**

Argemiro Reyes Rincón

*Presidente*

Fernando Bernal Niño

Rafael Rey Picón

Fernando Rodríguez Niño

Adalberto Méndez

Marco Antonio Cruz

Alexander Villanueva

Manoloín Avila Pérez

Philippe Genty

Guillermo Vallejo

Francisco Javier Velásquez

*Libardo Santacruz*

### **MIEMBROS COMITE SALUD Y NUTRICION HUMANA**

Carlos Vargas Cabrera

*Presidente*

Carlos Corredor Pereira

Gloria Garavito González

Mauricio Alberto Bernal

Leonardo Lareo

Edgar Villamizar Jaúregui