BOLETIN TECNICO No. 11

Manejo de efluentes de plantas extractoras

2. Diseño de lagunas de estabilización

cenipalma

MANEJO DE EFLUENTES DE PLANTAS EXTRACTORAS

2. DISEÑO DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

JESUS ALBERTO GARCIA NUÑEZ, I.S.
Area Plantas Extractoras - CENIPALMA
LEÓN DARIO URIBE MESA, I.E.
Palmas Oleaginosas Las Brisas

Boletín Técnico N°. 11
Santafé de Bogotá, D.C. marzo de 1997

cenipalma

Centro de Investigación en Palma de Aceite
Cra 10A # 69-98 A. A. 252171
Santafé de Bogotá, D.C.

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 sus actividades en enero de 1991 y su **Misión** es generar, adaptar y transferir tecnología para la agroindustria de la palma de aceite, con la **Visión** de optimizar los procesos de la agroindustria para lograr un gremio competitivo a nivel nacional e internacional, a través de la tecnología.

JUNTA DIRECTIVA 1996-1997

Presidente: JORGE ORTIZ MENDEZ

Vicepresidente: RICARDO BUENAVENTURA PINEDA

PRINCIPALES	SUPLENTES
Ricardo Buenaventra Pineda	José María Obregón Esguerra
Argemiro Reyes Rincón	Fernando Bernal Niño
Jorge Eduardo Corredor Mejía	Orietta del Pilar Prieto
Carlos Beltrán Roldán	Guillermo Londoño Gómez
Alfonso Dávila Abondano	Jaime Gregorio Vives Pinedo

ESPECIALES

Jorge Ortíz Méndez
Armando Samper Gnecco
Jens Mesa Dishington, **Presidente Fedepalma**
Cecilia López Montaño, **Ministra de Agricultura**
Rafael Aubad López, **Director CORPOICA**

MIEMBROS COMITÉS ASESORES DE INVESTIGACIÓN

Agronómico
Fernando Bernal Niño
Argemiro Reyes Rincón
Rafael Rey Picón
Fernando Rodriguez Niño
Adalberto Méndez
Marco Antonio Cruz Calle
Alexander Villanueva
Manoloin Avila Pérez
Philippe Genty
Guillermo Vallejo
Francisco Javier Velásquez
Libardo Santacruz

Plantas extractoras
Jorge Eduardo Corredor
José Miguel Díaz
Jairo Antonio Prada
Carlos Beltrán Roldán
León Darío Uribe
Germán Rubiano
Carlos Mario Peláez

Salud y Nutrición Humana
Carlos Vargas Cabrera
Carlos Corredor Pereira
Mauricio Alberto Bernal
Leonardo Lareo
Leonel Bautista Lorenzo

DIRECTOR EJECUTIVO
Pedro León Gómez Cuervo

Subdirector Técnico
Hugo Calvache Guerrero

Subdirector Administrativo Financiero
Carlos Alberto Adolphs Garzón

INVESTIGADORES

Area Entomológica
Hugo Calvache Guerrero
Sigifredo Mora Toquica
Jorge Aldana de la Torre

Manejo de Suelos, Aguas y Nutrición Vegetal
Fernando Munévar Martínez
Dumar Motta Valencia
Alvaro Acosta García
Mónica Cuellar Sánchez

Area de Fitopatología
Luis Eduardo Nieto Páez
Luz Amparo Guevara
Juan Pablo Tovar Molano
Fanny Alvañil Alvarez
Gustavo Santacruz Muñoz

Area de Fitomejoramiento y Fisiología
Iván E. Ochoa Cadavid
Victoria Villegas Galviz

Area de Proceso y Usos
Jesús A García Núñez
Isabel C. Garces Palacios

Area de Difusión
Pedro Nel Franco Bautista

CONTENIDO

PRESENTACIÓN 9

MARCO TEÓRICO 11

GENERACIÓN DE EFLUENTES EN LAS PLANTAS EXTRACTORAS 11

CARACTERÍSTICAS DE LOS EFLUENTES 14

LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN 16

Selección del sistema de tratamiento 16

Tratamientos preliminares 18

Laguna de enfriamiento 18

Lagunas de estabilización 19

Arreglos de lagunas 21

Disposición de lodos de fondo 24

INFORMACIÓN BÁSICA DE DISEÑO 25

PARÁMETROS DE DISEÑO 25

CUANTIFICACIÓN DE LOS VOLÚMENES DE EFLUENTES 27

CARACTERIZACIÓN Y MUESTREO 28

SELECCIÓN DEL SITIO 28

DATOS CLIMATOLÓGICOS 34

DISEÑO 35

DATOS INICIALES 35

DIMENSIONAMIENTO DE UNIDADES 37

Tratamientos Preliminares 37

Laguna de enfriamiento y equalización de caudales 39

Lagunas anaerobias 40

Lechos de secado 44

Lagunas facultativas 45

BALANCE HÍDRICO 50

CONSIDERACIONES GENERALES 51

REQUERIMIENTOS GUBERNAMENTALES 52

Bibliografía 55

GLOSARIO 57

PRESENTACIÓN

Dando continuidad a los Boletines Técnicos preparados por CENIPALMA en las diversas áreas en las cuales se genera y adapta tecnología para el sector palmero colombiano, se presenta este segundo boletín dentro del área de Plantas Extractoras, proyecto Manejo de Efluentes, sobre diseño de *lagunas de estabilización. Este boletín complementa el Manual de* arranque, operación y mantenimiento de lagunas de estabilización para extractoras de aceite de palma, publicado con anterioridad.

El contenido de este boletín está basado tanto en los proyectos desarrollados por CENIPALMA en las plantaciones Palmar de Manavire, Palmares de Andalucía, Hacienda Las Flores, Promociones Agropecuarias Monterrey, Palmeras de Alamosa Ltda y Extractora Gradesa S.A., así como también en las experiencias compartidas con el personal técnico de la planta extractora de Palmas de Casanare, pionero en el manejo de efluentes.

En este boletín se presenta, en primera instancia, un marco teórico sobre el origen y producción de efluentes, sus características, los parámetros de diseños comúnmente utilizados para el manejo de los efluentes y la información básica para el diseño de las lagunas de estabilización y ejemplo del mismo; por último se presentan los requerimientos gubernamentales vigentes.

La selección del diseño adecuado para el sistema de tratamiento de las aguas residuales de las extractoras debe ser complementado con un buen arranque, una buena operación y un mantenimiento del mismo. La ejecución de todas las etapas, según los modelos y parámetros definidos, garantizará el buen funcionamiento del sistema establecido.

PEDRO LEÓN GÓMEZ CUERVO; I.A. Ph.D.

DIRECTOR EJECUTIVO

MARCO TEÓRICO

GENERACIÓN DE EFLUENTES EN LAS PLANTAS EXTRACTORAS

El procesamiento de los racimos de fruta fresca (RFF) de la palma de aceite se realiza en plantas extractoras que mediante los efectos de presión, temperatura y procesos mecánicos, extraen el aceite contenido en la pulpa del fruto. Como insumo único podría considerarse el agua, utilizada como medio de dilución, producción de vapor y lavado. Los procesos en los cuales se generan los efluentes se describen en forma general a continuación.

Esterilización : Mediante el uso de autoclaves horizontales presurizados con vapor de agua, el fruto depositado en las vagonetas se somete a un proceso de esterilización, el cual se realiza en dos o tres picos de presión que oscilan entre 20 y 45 psi, previa desaireación del autoclave y descarga del vapor condensado entre pico y pico. Este vapor es evacuado del autoclave en parte como vapor a la atmósfera y en parte como un condensado, generando de esta forma el primer efluente que contiene aceite, sólidos en diferentes formas y materia orgánica, entre otros.

Este efluente puede representar hasta el 10% del peso de la fruta procesada y hasta el 15% del total de los efluentes.

Clarificación. El aceite crudo proveniente del prensado se bombea a través de una columna de ebullición que lo recalienta hasta 100° C y es descargado a un tanque de sedimentación conocido como decantador primario o clarificador. El aceite se recoge en la parte superficial del tanque y se lleva a tanques reclarificadores para efectuar, posteriormente, una deshidratación y luego ser transportado a los tanques de almacenamiento. Las aguas aceitosas del decantador primario se envían a unos tanques para recuperar algo del aceite que se ha escapado. Los efluentes de estos tanques son conducidos, generalmente, a una centrífuga deslodadora en la cual se recupera otro poco de aceite. El efluente de las centrífugas deslodadoras es conducido a las trampas de grasas o florentinos, para posteriormente ser llevados al sistema de tratamiento, convirtiéndose en la principal fuente de efluentes de la planta extractora.

Hidrociclones: Cuando la separación de las almendras y las cáscaras se lleva a cabo en equipos de hidrociclones se produce el tercer vertimiento de aguas residuales. Este vertimiento contiene mucho menos materia orgánica que los condensados de esterilización y las aguas residuales de clarificación. Últimamente se están usando equipos de separación en seco que no generan efluentes en este punto.

Adicionalmente, una cuarta corriente sería la producida por el lavado y las purgas de algunos equipos durante el proceso.

Cantidades de efluentes

En Colombia la cantidad de efluentes producidos en las plantas extractoras de aceite de palma, en proporción con la fruta procesada, oscila entre 0,55 y 1,2 m^3 de agua/ t RFF, con un promedio de 0,82 m^3 de agua/t RFF. Los datos anteriores se obtuvieron de 30 plantas extractoras encuestadas por CENIPALMA (García 1993), y el rango de capacidad de procesamiento de las plantas extractoras oscila, entre 3 a 45 t RFF/hora, lo cual daría para una jornada de trabajo de 8 horas entre 20 y 295 m^3 de efluentes por día, utilizando el factor promedio de 0,82 m^3 de agua/t RFF. Sin embargo, la producción de la palma de aceite presenta períodos de alta y baja producción, por lo cual, los diseños de los sistemas de tratamiento deben de hacerse para el máximo caudal, así, para el ejemplo dado anteriormente, si la jornada es de 20 horas/día, el rango de producción de efluentes sería entre 50 y 738 m^3/día.

Optimización del proceso productivo

Antes de efectuar un diseño para el tratamiento de los efluentes de una planta extractora de aceite de palma se debe primero pensar en optimizar el proceso productivo, y con ello se hace más eficiente el proceso y se contamina menos. Un manejo adecuado de los programas de recuperación de aceite como son el uso de centrífugas deslodadoras y de volúmenes de equipos aceptables acordes con la producción, ayudan a disminuir el contenido de aceite en los efluentes, lo cual facilita el tratamiento. Así mismo,

la separación de las aguas lluvias de las aguas del proceso disminuye el volumen de los efluentes a tratar. Otro aspecto que debe tenerse en cuenta es optimizar el consumo de agua dentro del proceso, lo cual se puede lograr al efectuar unos buenos controles de la dilución en la etapa de clarificación y al evitar el desperdicio de agua durante la limpieza.

CARACTERÍSTICAS DE LOS EFLUENTES

En la Tabla 1 se presenta un promedio de caracterizaciones de los efluentes de varias plantas extractoras en Colombia.

Tabla 1. Caracterización de los efluentes de plantas extractoras en Colombia.

PARÁMETRO	UNIDAD	RANGO	PROMEDIO
pH	unidad	3,87 - 5,25	4,55
Temperatura	°C	53 - 77	67,4
DBO_5	mg/l	18.700 -175.521	48.873
DQO	mg/l	45.256 - 232.000	79.729,6
Sólidos Totales (ST)	mg/l	32.482 - 111.029	45.669,8
Sólidos Suspendidos (SS)	mg/l	19.129 - 88.258	35.105
Sólidos Disueltos	mh/l	5.150 - 13.074	9.112
Sólidos Sedimentables (S.Sed)	ml/hr	0 - 1.000	564,2
Sólidos Totales Volátiles (STV)	mg/l	26.530 - 98.445	48.988
Fósforo Total (P - Total)	mg/l	15,7 - 113,6	66,1
Nitrógeno Total (N - Total)	mg/l	67.5 - 695	284,1
Nitrógeno Amoniacal	mg/l	11 - 25,5	18,3
Grasas y Aceites	mg/l	5.400-19.420	9.611
Acidez Total	mg/l	750 - 2.548	1.611
Alcalinidad Total	mg/l	0 - 807,3	161,5

Según la tabla anterior, los principales problemas de estos efluentes son el bajo pH, la elevada temperatura, la alta carga de sólidos totales y suspendidos, la alta carga orgánica medida como Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días (DBO_5) y Demanda Química de Oxígeno (DQO), pero con la ventaja de que una alta fracción es biodegradable, ya que la relación DBO_5/DQO es de 0,61, la cual está por encima de 0,45 que es la mínima. La alta cantidad de aceite presente en los efluentes también se considera un problema, pues generalmente este elemento es considero de difícil degradación.

Cuervo (1993), citado por Uribe (1995a), obtuvo, a escala de laboratorio, la constante K(20°C) = 0,33 días $^{-1}$ que mide la velocidad de oxidación aerobia de la materia orgánica. Este valor caracteriza a este tipo de aguas y puede usarse en el diseño de las lagunas facultativas.

Las características antes mencionadas, justifican que el sistema de tratamiento que se debe implementar sea del tipo biológico.

LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

Selección del sistema de tratamiento

Dentro de las alternativas para el diseño de tratamientos de efluentes se encuentran los sistemas fisicoquímicos y los tratamientos biológicos. Por ensayos realizados en Malasia y en Colombia (Padilla et al 1996), los sistemas de tratamiento fisicoquímicos tradicionales, como coagulación y floculación, no se recomiendan por su alto costo e ineficiencia en la remoción de la materia orgánica; además, los sólidos que se forman en la sedimentación constituyen un problema de manejo. El alto contenido de sólidos (mayor de 30.000 mg/l) y la presencia de aceites y grasas (9.000 mg/l aproximadamente) confirman el problema de tratamiento por sistemas químicos convencionales.

Los sistemas de tratamientos biológicos pueden ser aerobios, anaerobios o combinación de éstos. La gran cantidad de material orgánico que hay en estos efluentes hace que los sistemas de tratamiento aerobio, como los

lodos activados, sean descartados de plano por sus altos costos tanto de infraestructura como de mantenimiento. De otra parte, los sistemas anaeróbicos de alta rata como los Reactores Anaeróbicos de Lechos Fluidizados (RALF) y el Manto de Lodos de Flujo Ascendente (UASB), no se recomiendan para tratar este tipo de desecho, pues el alto contenido de grasa y material floculento ocasionaría problemas de operación en estos sistemas. Por lo expuesto anteriormente, el sistema que más se acopla para la degradación de las aguas residuales de las plantas extractoras de aceite de palma son las lagunas de estabilización, en las cuales se combinan, principalmente, procesos anaeróbicos con procesos facultativos y aeróbicos. No obstante, una planta extractora de la Zona Occidental (Tumaco) está operando con éxito un biodigestor para el tratamiento de estos efluentes, y el gas recolectado se está probando como complemento de combustible en las plantas diesel.

Las grandes áreas utilizadas por las lagunas de estabilización no son un limitante dentro de las plantaciones, pues se cuenta con suficiente espacio. Estas lagunas son sistemas estables y de fácil manejo, en las cuales se garantiza una fácil operación y unas eficiencias de remoción de la materia orgánica superiores al 95%.

Tratamientos preliminares

Los tratamientos preliminares son diseñados y construidos para proteger los sistemas posteriores, como las bombas, y evitar que se pierda tiempo de residencia hidráulica en las lagunas por acumulación de arenas. Las rejillas y los desarenadores son los más usados. Las primeras son barras inclinadas que se usan dentro de los canales con el fin de atrapar el material grueso (palos, frutos, etc.) que puede atascar los sistemas de bombeo; los desarenadores que en este caso podrían ser reemplazados adaptando los florentinos, remueven materiales sedimentables tales como arenas y trozos de frutos, de tal manera que no se le quita vida útil a las unidades posteriores y evita el desgaste abrasivo en tuberias y bombas. De igual forma, sirve para recuperar aceite que por sus características puede retornarse al proceso. En los desarenadores se retienen arenillas, piedras y, en general, partículas con gravedades específicas cercanas a 2,65 y de diámetro superior a 0,1 mm. Para esto se recomiendan velocidades en el desarenador menores de 0,2 m/s y un diseño con carga superficial menor de 200 $m^3/m^2/día$ (Uribe 1995b).

Laguna de enfriamiento

Este tipo de laguna se denominada de enfriamiento, desaceitado o equalización de caudales, ya que cumple con cada una de esas funciones. El enfriamiento es importante para garantizar un trabajo óptimo de la población de microorganismos que actuarán en la siguiente laguna, ya que éstos

requieren temperaturas menores de 37°C. En algunos casos, la labor de enfriamiento de esta laguna se puede suplir con equipos, como son las torres de enfriamiento. Otra función importante de esta laguna es la de recuperar el aceite ácido que se forma en su superficie, el cual puede venderse como materia prima para jabonería. La función de equalización de caudales es importante en la medida en que el flujo que entra al sistema de tratamiento propiamente dicho tiene menores fluctuaciones comparado con una descarga directa. La materia orgánica de estos efluentes varía durante el día y a través de la semana. Para la laguna de desaceitado y enfriamiento, el diseño se basa en el tiempo de retención hidráulica; valores entre 2 y 3 días, son los más usados. Un aspecto de singular importancia es que en esta laguna no se recomienda la adición de microorganismos, ya que su comportamiento sería como laguna acidogénica.

Lagunas de estabilización

Para efectos de este boletín se consideran cuatro tipos de lagunas: las anaerobias acidogénicas, las anaerobias metanogénicas, las facultativas y las aerobias. En las dos primeras predominan los procesos de fermentación anaerobia (en ausencia de oxígeno), obteniéndose como resultado de esto, ácidos grasos de cadena corta (AGV) y productos intermedios en las acidogénicas, y dióxido de carbono (CO_2) y metano (CH_4) en las metanogénicas. En las facultativas ocurren, a variadas intensidades y predo-

minio, los procesos de fermentación anaerobia, oxidación aerobia y reducción fotosintética (Rivas 1978). En las aerobias, básicamente ocurre la transformación de la materia orgánica en presencia de oxígeno, produciéndose agua (H_2O), dióxido de carbono (CO_2) y oxígeno (O_2).

Las lagunas anaerobias metanogénicas remueven entre un 80 y 90% de la DQO, DBO_5 y ST. La primera laguna facultativa tiene una remoción entre el 70 y el 80% de la materia orgánica, y la segunda laguna facultativa remueve entre el 50 y el 65%. En las lagunas de desaceitado y enfriamiento regularmente no se considera ninguna remoción; sin embargo, debido a procesos físicos de separación se alcanza a remover hasta un 30% de ST, DBO_5 y DQO. No obstante, en algunas oportunidades se presenta un incremento en los aceites y grasas y esto se debe, principalmente, al aceite que se escapa de los sólidos que lo tenían atrapado.

Para el diseño de las lagunas acidogénicas se usan tiempos de retención entre 3 y 5 días, un borde libre de 0,30 m y profundidades entre 2 y 3 m. Por lo general, las lagunas anaerobias tienen profundidades entre 2 y 4 m; sin embargo, si las condiciones topográficas y específicas de cada proyecto no permiten estas profundidades se aceptan alturas hasta de 1,80 m. Así mismo, dada la acumulación de sólidos que se producen en el fondo de éstas, se debe prever una instalación para la fácil evacuación de éstos. Un borde libre de 0,30 m es recomendable en todos los casos.

Como en las lagunas facultativas y aerobias se busca que haya un mayor intercambio de oxígeno con el aire, se debe optimizar el área superficial. Las profundidades en estos casos son menores de 1,70 m y se deja igualmente un borde libre de 0,30 m.

Arreglos de lagunas

Cualquier arreglo de lagunas que se quiera implementar debe considerar que después del acondicionamiento del desecho, principalmente de la temperatura, las primeras lagunas que siguen son las anaerobias, pues así se hace la mayor conversión de la materia orgánica, de la forma mas económicamente posible.

Las lagunas facultativas y aerobias sirven para pulir el efluente de las lagunas anaerobias y poder cumplir así los requerimientos gubernamentales. En la Figura 1 se presenta un esquema de algunas alternativas de arreglo de lagunas, teniendo en cuenta las consideraciones anteriores.

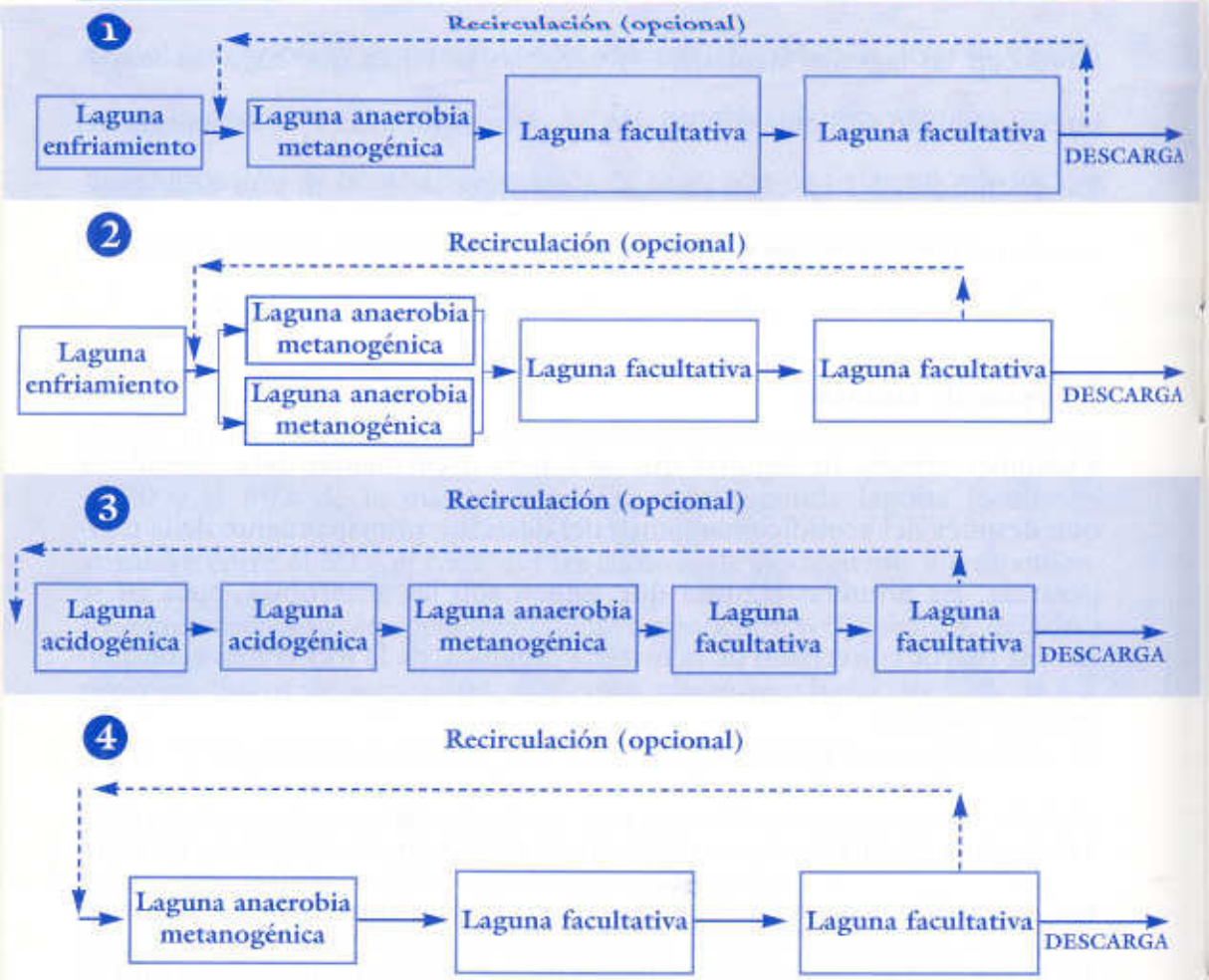


Figura 1. Diferentes arreglos de lagunas

En la figura anterior se presentan cuatro de las opciones más comunes usadas en el diseño de lagunas. La opción 1 consiste en una laguna de enfriamiento seguida de una laguna anaerobia y dos lagunas facultativas en serie. En la opción 2 se conserva el mismo diseño, con la diferencia de que el volumen de la laguna anaerobia metanogénica se divide en dos, lo cual

le da al sistema una mayor flexibilidad de operación. Nótese que en estas dos opciones, la recirculación llega a la laguna anaerobia metanogénica y no a la laguna de enfriamiento desaceitado, pues en ésta se evita la proliferación de bacterias con el fin de que la degradación biológica sea mínima y la recuperación de aceite máxima. La recirculación ayuda a enfriar el afluente a la laguna, inocula bacterias adaptadas y aumenta el contenido de alcalinidad estabilizando el pH.

En la opción 3 desaparece la laguna de desaceitado y entran dos lagunas acidogénicas con el fin de dividir el proceso de degradación anaeróbica en sus dos etapas básicas, acidogénesis y metanogénesis. En este caso, la recirculación llega directamente a la primera laguna acidogénica. Este diseño puede presentar problemas de frecuentes malos olores por la sobrecarga de las lagunas acidogénicas; la recirculación en estos casos es mucho más importante que en los arreglos mencionados anteriormente. En la opción 4 no se construyen lagunas de desaceitado ni lagunas acidogénicas, por lo cual se debe contar con sistemas de disminución de la temperatura del efluente, como bandejas de enfriamiento. Una variante de la opción 4 es dividir la laguna metanogénica en dos lagunas.

Todas las opciones expuestas son válidas, así como también las combinaciones entre ellas; sin embargo, se sugieren aquellas opciones que permitan una mayor flexibilidad del sistema y menores problemas operativos como la opción 2, la cual se escoje mas adelante para el ejemplo del diseño.

Disposición de lodos de fondo

Dada la acumulación de sólidos biológicos en el fondo de las lagunas metanogénicas, debido a los procesos de estabilización de la materia orgánica se debe prever la forma como se hará esta evacuación.

Existen dos formas de hacerlo; los lechos de secado y la disposición de lodos húmedos.

Los lechos de secado son sistemas compuestos de capas de arena y grava, en las cuales los sólidos acuosos provenientes del fondo de las lagunas se secan por infiltración y evaporación del agua. Una vez secos, éstos sólidos se pueden usar en la plantación como fertilizante. Los sólidos acuosos llegan a los lechos de secado por medio de una malla de tuberías que se encuentra en el fondo de las lagunas metanogénicas o bien bombeados desde el fondo de éstas.

Para la disposición de los lodos húmedos, el drenaje de los sólidos del fondo de las lagunas metanogénicas se hace por bombas de lodos directamente a la plantación. Para este sistema no se necesita el múltiple recolector en el fondo de la laguna metanogénica. La composición de estos lodos se presentó en el Boletín Técnico N°. 10 (García 1996).

INFORMACIÓN BÁSICA DE DISEÑO

PARÁMETROS DE DISEÑO

Los principales parámetros que determinan el diseño de las lagunas de estabilización son la Carga Orgánica Aplicada (CO), la Carga Orgánica Volumétrica (COV), la Carga Orgánica Superficial (COS) y el Tiempo de Retención Hidráulica (TRH).

Para los cálculos, se trabaja con base en la DQO y no como comúnmente se hace con la DBO_5, ya que la DQO describe muy bien los procesos tanto como la DBO_5. Además, para efectos de control del sistema dentro de la plantación, el análisis de la DQO se demora tres horas comparado con los 5 días que se demora la determinación de la DBO_5.

Las cargas orgánicas de diseño y los tiempos de retención hidráulica aquí propuestos son válidos para sistemas en los cuales se hace un arranque de los mismos con microorganismos adaptados y siguiendo una metodología similar a la expuesta en el Boletín Técnico N°. 10 de CENIPALMA sobre arranque y operación de lagunas. Las ecuaciones empleadas en los diseños son:

$$CO = DQO \times Q \qquad (1)$$

$$COV = \frac{CO}{V} \qquad (2)$$

$$COS = \frac{CO}{S} \qquad (3)$$

$$TRH = V/Q \qquad (4)$$

Donde :

- CO = Carga Orgánica (kg DQO/d).
- COV = Carga Orgánica Volumétrica (kg DQO/m^3-d)
- COS = Carga Orgánica Superficial (kg DQO/m^2-d)
- S = Área superficial de la laguna (m^2)
- V = Volumen de la laguna (m^3)
- TRH = Tiempo de Retención Hidráulica (días)
- Q = Caudal (m^3/d)

La COV máxima encontrada para las lagunas anaerobias metanogénicas en los diferentes proyectos realizados por CENIPALMA fue de 5 kg DQO/m^3-d. Para los diseños se trabaja con un porcentaje entre 0,60 y 0,80 de la COV máxima, dependiendo de las condiciones propias en los cuales se desarrolle el proyecto.

Debido a que la primera laguna facultativa recibe el efluente de la laguna anaerobia metanogénica, es común encontrar valores de DQO entre 5.000 y 12.000 mg/l, por tanto, su comportamiento facultativo va a tender más hacia la parte anaerobia, por lo cual se diseña con COV y no con COS. El valor de diseño de COV recomendado para esta laguna está entre 0,3 y 1,0 kg DQO/m^3-d. Para las lagunas facultativas se recomienda para el diseño, valores de COS entre 0,35 y 0,40 kg DQO/m^2-d.

CUANTIFICACIÓN DE LOS VOLÚMENES DE EFLUENTES

Para el diseño del sistema de tratamiento se necesita saber que cantidad de agua residual se obtiene por cada tonelada de RFF procesada. Este factor se denomina R y para su cuantificación es necesario aforar el vertimiento. La medición de caudales (aforo) debe hacerse como mínimo en un tiempo de ocho horas y relacionarlo con la fruta procesada en ese período. Estas mediciones se deben repetir durante varios días y en épocas de baja y máxima producción para así obtener un valor confiable. Para 1993, el valor de R en 30 extractoras del país estuvo entre 0,55 y 1,2 m^3 de agua/t RFF procesada, con un promedio de 0,82 (García 1993). Las proyecciones de diseño deben hacerse teniendo en cuenta la capacidad máxima de procesamiento de la planta extractora, considerando las posibles ampliaciones que se hagan en un período no inferior a cinco años.

El caudal de diseño (Q) viene dado por la siguiente expresión:

$$Q = CP \times HP \times R \qquad (5)$$

Donde:

- Q = Caudal de diseño en m^3/d
- CP = Capacidad máxima de procesamiento de la planta extractora en t RFF/h, proyectada a cinco años
- HP = Horas de procesamiento en máxima producción de la extractora en h/d
- R = Relación de agua producida por fruto procesado en m^3/t RFF

CARACTERIZACIÓN Y MUESTREO

Junto con el aforo efectuado para determinar los volúmenes de agua a tratar, se deben recolectar muestras ponderadas proporcionales al flujo, de tal forma que al final del día se obtenga aproximadamente 1 litro de efluente. Esta muestra se debe preservar convenientemente y refrigerarla para efectuar el análisis lo antes posible.

Los análisis in sitú que se deben realizar a estos efluentes son el pH y la temperatura.

Los análisis que exige la entidad reguladora para la presentación y aprobación del proyecto y que deben ser ejecutados por un laboratorio acreditado por dicha entidad son los que se presentan en la Tabla 1. Estos análisis sirven para probar la eficiencia del sistema y para comparar, si es el caso, con datos similares tomados en la fuente receptora.

SELECCIÓN DEL SITIO

Estudio de suelos: Por medio de éste estudio se decide si el terreno escogido para la construcción del sistema de tratamiento es o no el adecuado. Los resultados que se obtienen de este estudio son: Textura, estructura, resistencia al corte o capacidad portante (mide la capacidad del suelo para soportar cargas), infiltración (mide la capacidad del suelo de permitir

el paso de agua), permeabilidad o conductividad hidráulica (mide la capacidad del suelo de transporte de agua) y profundidad del nivel freático. En las Tablas de la 2 a 4, se presentan los rangos de interpretación de estos parámetros, y en la Tabla 5 se presentan los métodos utilizados para estas determinaciones.

Tabla 2. Interpretación de los valores de infiltración (Montenegro 1991)

Infiltración Básica (cm/hora)	Interpretación
< 0,1	Muy lenta
0,1 - 0,5	Lenta
0,5 - 2,0	Moderadamente lenta
2,0 - 6,3	Moderada
6,3 - 12,7	Moderadamente rápida
12,7 - 25,4	Rápida
> 25,4	Muy rápida

Tabla 3. Clasificación de los valores de conductividad hidráulica o permeabilidad (Montenegro 1991)

Conductividad Hidráulica (cm/h)	Interpretación
< 0.1	Muy lenta
0,1 - 0,5	Lenta
0,5 - 1,6	Moderadamente lenta
1,6 - 5,0	Moderada
5,0 - 12,0	Moderadamente rápida
12,0 - 18,0	Rápida
> 18,0	Muy rápida

Para la construcción de las lagunas se requiere hacer al menos tres calicatas por hectárea o según la variabilidad del suelo. Para la elección del sitio definitivo, se prefieren aquellos suelos con un nivel freático bajo (lejos de la superficie), una infiltración y conductividad hidráulica lenta y una alta capacidad portante. Si las condiciones expuestas no se cumplen y no hay otro sitio donde ubicar las lagunas, se requiere efectuar movimientos de tierra para lograr las condiciones óptimas. En las Tablas 6 y 7 se presentan dos perfiles distintos de suelos, en los cuales se ve claramente que en el segundo caso, el sitio evaluado no es el mejor para la construcción de las lagunas, ya que el suelo es muy inestable y con demasiadas gravillas.

Tabla 4. Interpretación de la resistencia al corte o Capacidad Portante, según Terzagui y Peck (1.978).

Capacidad portante (kg/cm²)	Consistencia
< 0,125	Muy blanda
0,125 - 0,25	Blanda
0,25 - 0,5	Media
0,50 - 1,0	Semidura
1,0 - 2,0	Dura
> 2,0	Rígida

Tabla 5. Método utilizados en las pruebas físicas del suelo.

Prueba física del suelo	Método
Color	Comparación con la tabla de color Munsell.
Textura	Bouyucos y separación de gravas por agitación mecánica.
Estructura	Cuantificación y calificación directa en el campo.
Capacidad portante	Con el penetrómetro manual utilizado en muestras indisturbados del suelo.
Infiltración	Anillos concéntricos.
Permeabilidad	Conductividad Hidráulica con cabeza constante.

Tabla 6.

Ejemplo de un perfil de suelo apto para la construcción de las lagunas.

PROF. cm.	PERFIL	RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS						
		COLOR	NIVEL FREATICO	TEXTURA	ESTRUCTURA	RESISTENCIA AL CORTE	INFILTRACIÓN	PERMEABILIDAD
0	A	Pardo oscuro		FARA Franco Arcillo Arenos	Estable	Dura	Lenta	Lenta
85	BW	Rojo amarilloso		(FARA)	Estable	Dura	Lenta	Mod. lenta
155		Grises			Inestable	Blanda		
165			AGUA	GRAVI-LLA				

Tabla 7.

Ejemplo de un perfil de suelo no apto para la construcción de lagunas.

PROF. cm.	PERFIL	RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS						
		COLOR	NIVEL FREATICO	TEXTURA	ESTRUCTURA	RESISTENCIA AL CORTE	INFILTRACIÓN	PERMEABILIDAD
0 100		Pardo rojo oscuro	No determi-nada	Gravilla	Inestable	Blanda	No determinada	No determinada

Levantamiento topográfico: Por medio de éste estudio, combinado con el estudio de suelos, se plasma el diseño definitivo, obteniéndose los volúmenes de tierra a mover, la pendiente hidráulica y el sitio de vertimiento final entre otros. La escala utilizada será 1:500 ó 1:1000 con curvas de nivel cada 0,50 m (Uribe 1995a).

DATOS CLIMATOLÓGICOS

Debido a las grandes áreas superficiales del sistema de lagunas, los fenómenos de evaporación, precipitación e infiltración tienen una notoria influencia. Mara et al (1992) propusieron la siguiente expresión para determinar el caudal de salida del sistema.

$$Qs = Qe - 0{,}001 \times As \times E \qquad (6)$$

donde:

Qs = Caudal de salida

Qe = Caudal de entrada

As = Área superficial de la laguna

E = Evaporación efectiva en mm/d (La evaporación efectiva es la diferencia entre precipitación y evaporación).

Esta fórmula parte del supuesto de que la infiltración es mínima. En el caso de las dos primeras lagunas para el tratamiento de los efluentes de las plan-

tas extractoras de aceite de palma, este supuesto se cumple cabalmente debido a las características propias del desecho que hacen que con el tiempo, la infiltración sea prácticamente nula. Durante la etapa de construcción, se debe garantizar una buena compactación del fondo y los taludes de todas las lagunas.

DISEÑO

A continuación se presenta un ejemplo de diseño para una planta extractora de aceite de palma hipotética con capacidad de 13 t RFF/h, la cual no contempla en los próximos cinco años efectuar ampliaciones. En períodos picos de producción, la extractora trabaja 22 horas. Se considera que las características del efluente son similares a las presentadas en la Tabla 1. Para el sistema de lagunas se escoge la opción 2, descrita antes.

DATOS INICIALES

Para efectuar los diseños se cuenta con la siguiente información: Resultados de la caracterización, levantamiento topográfico del lote, estudio de suelos y datos de precipitación y evaporación.

Efluentes producidos

Clarificación:	0,57 m^3/t RFF
Esterilización:	0,10 m^3/t RFF
Hidrocilones:	0,05 m^3/t RFF
Agua Total:	0,72 m^3/t RFF

Caudal (Q)

Q= (13 t RFF/h) x (22 h/d) x (0,72 m^3/t RFF) = 206 m^3/d

Se considera que al florentino llegan las aguas de esterilización y los efluentes de la clarificación. De acuerdo a la Tabla 1 esta corriente tiene una DQO de 79.730 mg/l. El agua de los hidrociclones, acorde con datos recogidos, tiene una DQO de 6.880 mg/l, por tanto, la DQO ponderada de toda la corriente se calcula como se muestra a continuación.

DQO Clarificación y Esterilización = 79.730 mg/l

DQO hidrociclones = 6.880 mg/l

DQO ponderada = ((0,57+0,10) x 79,730+0,05 x 6.880)/0,72

DQO ponderada = 74.193 mg/l ~ 74 kg/m^3

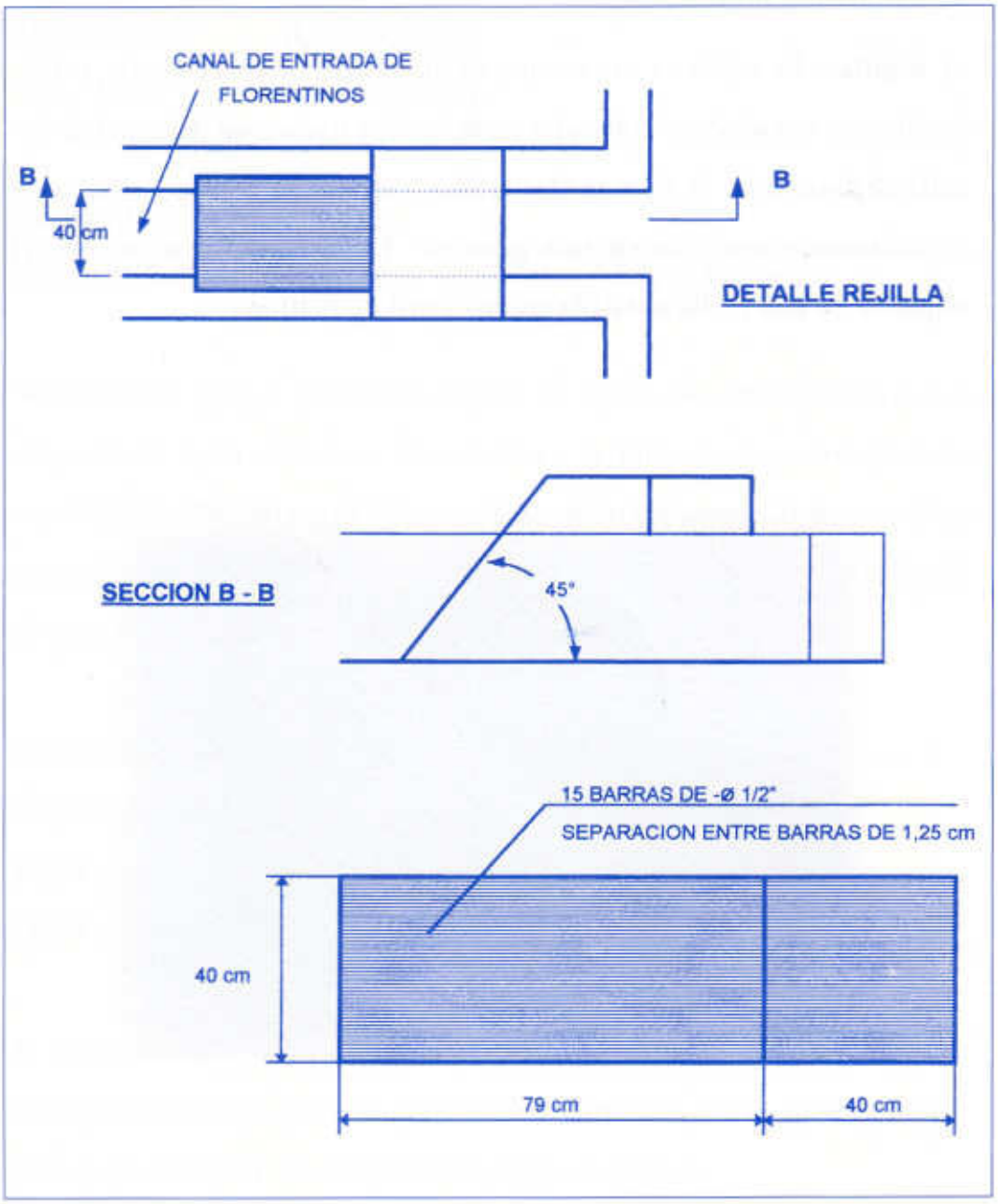
El perfil del suelo considerado es el mostrado en la Tabla 6, debido a su buena resistencia (capacidad portante), infiltración lenta, permeabilidad lenta y profundidad del nivel freático a más de 1,55 m.

DIMENSIONAMIENTO DE UNIDADES

Tratamientos Preliminares

a) Rejillas. La rejilla es un sistema de barras paralelas inclinadas a 45°, igualmente espaciadas y colocadas en la sección transversal del canal de llegada al florentino. Si se usan dos rejillas, primero se coloca la que tiene espaciamientos entre barras más grandes. En la Figura 2 se muestra el esquema de una rejilla instalada en una canal de 0,40 m.

Figura 2. Instalación de una rejilla típica a la entrada del tanque florentino



b) Desarenador y Tanque de recuperación de aceite (Florentino). Regularmente, la optimización del tanque florentino, además de aumentar la recuperación de aceite, sirve a la vez como desarenador. Pueden diseñarse tanques con TRH de dos días.

Al despejar de la ecuación (4) se tiene:

$V = TRH \times Q$

$V = 2{,}0\ d \times 206\ m^3/d = 412\ m^3$

Las dimensiones definitivas se adaptarán a las condiciones propias de la extractora, como son el espacio disponible, facilidad de acceso, etc.

Laguna de enfriamiento y equalización de caudales

Dimensionamiento

De la ecuación (4)

$V = TRH \times Q$

$V = 2{,}5\ d \times 206\ m^3/d = 515\ m^3$

Profundidad $hp = 1{,}40$ m (adoptado)

$Área = V/hp = 515\ m^3/1{,}40\ m = 368\ m^2$

Relación Largo/Ancho = 3

Ancho medio (W) = 11 m

Largo medio (L) = 33 m

Talud Interior 1 : 2 (Buena resistencia del suelo según el estudio de suelos)

Borde libre: 0,30 m

Altura total (Ht) : 1,70 m

Recuperación de aceite ácido. En la berma de la laguna se hace uno o varios fosos de 1 m de ancho x 2 m de largo x 0,70 m de profundidad, de tal manera que el nivel del agua coincida con el nivel del foso. Cuando se va a recuperar el aceite, se cierra la salida de la laguna de tal manera que el nivel del agua suba y desborde la capa de aceite a estos fosos. El aceite ácido acumulado en los fosos se extrae mediante bombas de succión a tanques para su venta posterior.

Lagunas anaerobias

Dimensionamiento :

Se asume, por seguridad, que en la laguna de desaceitado no hay ninguna remoción.

De la ecuación (1)

CO = DQO x Q = 74 kg/m^3 x 206 m^3/d = 15.244 kg/d

COV = 3,2 kg DQO/m^3-d (Este valor se escoge como el 65% de la COV máxima que es de 5 kg DQO/m^3-d. El factor

de seguridad varía según las condiciones de operación y mantenimiento con las que se espera va a contar el sistema.)

De la ecuación (2)

V = CO/COV = (15.244 kg/d)/(3,2 kg/m^3-d) = 4.764 m^3

Por versatilidad de operación del sistema se opta por dos lagunas metanogénicas en paralelo, cada una con 2.382 m^3 de volumen útil.

De la ecuación (4).

TRH = V/Q = 4.764/206 = 23 días. (Entre las dos lagunas)

Profundidad hp = 2,50 m (Se debe dejar una distancia al menos de 10 cm por encima del nivel freático medido en período de lluvias).

Área = 952,8 m^2

Largo/Ancho = 6

Ancho medio (W) = 12,6 m

Largo medio (L) = 75 m

Borde libre = 0,30 m

Altura total (Ht) = 2,80 m

CO Efluente = Carga Aplicada (1 - Eficiencia)

CO Efluente = 15.244(1-0,85) = 2.287 kg DQO/d

Despejando de la ecuación (1)

Concentración de DQO a la salida = (2.287 kg DQO/d) /(206 m^3/d).

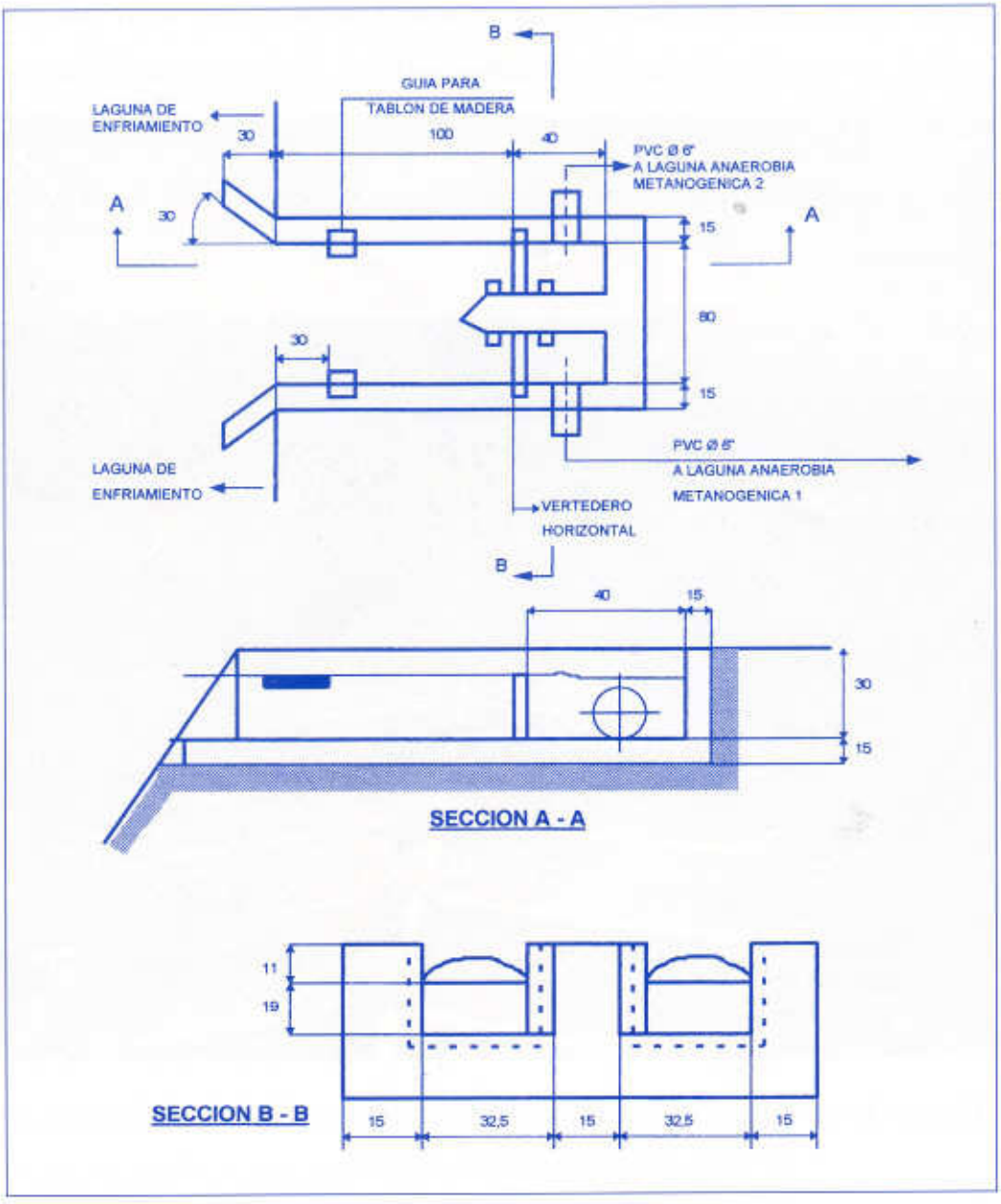
DQO = 11,109 kg/m^3 = 11.109 mg/l

En la Figura 3 se presenta una opción de estructura hidráulica para la conección de la laguna de enfriamiento con las lagunas anaerobias metanogénicas.

Múltiple recolector: La evacuación de lodos se realiza desde el fondo de las lagunas mediante un múltiple recolector, conformado por tuberías perforadas y espaciadas uniformemente. La tubería puede ser de 6" y las perforaciones de 1" espaciadas cada 20 cm. En la Figura 4 se presenta un detalle de un múltiple recolector.

Figura 3.

Esquema de estructura de conección entre la laguna de enfriamiento y las lagunas metanogénicas (unidades en cm).



Lechos de secado

El líquido percolado es llevado por tubería al caño adyacente o a canales de riego. La materia orgánica presente en este líquido es muy baja, pues los sólidos en suspensión son estabilizados; además, en el proceso de percolación por los lechos de secado el agua se acaba de tratar. El lodo seco, por sus características, puede ser utilizado como mejorador del suelo en la plantación.

Figura 4. Instalación de un múltiple recolector de lodos de fondo en Guaicaramo (Foto: Jesús A. García)

Figura 5. Llegada del múltiple recolector a los lechos de secado en lagunas de Palmas de Casanare (Foto: Jesús A. García)

Lagunas facultativas

Para el diseño de estas lagunas se asume que no hay pérdidas de flujo en la lagunas metanogénicas, y por tanto, el caudal de entrada es igual al caudal de salida. Esto constituiría el estado más crítico.

Dimensionamiento :

Laguna Facultativa 1.

CO = Carga Efluente Laguna metanogénica

CO = 2.287 kg/d

Se diseña con COV y no con COS, según lo comentado en Parámetros de diseño

COV = 0,5 kg DQO/m^3-d (Dato experimental)

De la ecuación (2) :

V = CO/COV = 2.287/0,5 = 4.574 m^3

De la ecuación (4):

TRH = V/Q = 4.574/206 = 22 días.

Hp = 2,00 m (adoptado)

Área superficial = 2.287 m^2

Largo/Ancho = 2,00

Ancho (W) = 34 m

Largo (L) = 68 m

Borde libre = 0,30 m

Altura total (Ht) = 2,30 m

Carga Efluente = Carga Aplicada (1 - Eficiencia)

Carga Efluente = 2.287(1-0,75) = 572 kg DQO/d

Al despejar de la ecuación (1):

Concentración de DQO a la salida = (572 kg DQO/d) /(206 m^3/d)

DQO = 2,777 kg/m^3 = 2.777 mg/l

Laguna Facultativa 2

Se diseña con el valor de COS, buscando optimizar un área de laguna y no un volumen determinado.

CS = 0,35 kg DQO/m^2-d (Experimental)

De la ecuación (3) se despeja el área superficial S.

S = CO / CS = 572/0,35 = 1.634 m^2

Largo/ancho = 2,0

Ancho (W) = 28 m

Largo (L) = 56 m

Hp = 1,70 m. (valor adoptado)

Volumen útil = 2.778

Aplicando la ecuación (4) se obtiene el tiempo de residencia hidráulica (TRH)

TRH = V/Q = 2.778/206 = 13,5 días

Borde libre = 0,30 m

Altura total (Ht) = 2,0 m

CO Efluente = Carga Aplicada (1 - Eficiencia)

CO Efluente = 572(1 - 0,65) = 200 kg DQO/d

Al despejar de la ecuación (1):

CO = DQO x Q : DQO = CO/Q

Concentración de DQO a la salida = 200 kg/d /206 m^3/d

DQO = 0,972 kg/m^3 = 972 mg/l

En las Figuras 6 y 7 se presenta una opción para las estructuras de entrada y salida de las lagunas facultativas.

Figura 6. Estructura de llegada a laguna facultativa en las lagunas de Palmas de Casanare (Foto: Jesús A. García)

Figura 7. Estructura de salida laguna facultativa en la laguna de Palmas de Casanare (Foto: Jesús A. García)

Con el valor de DQO de 972 mg/l de la última laguna facultativa, se estaría cumpliendo con la legislación actual más exigente (ver Tabla 11). Como puede verse, a medida que se diseñan más lagunas, la eficiencia unitaria de cada una de éstas disminuye. Se debe prever un espacio para otra laguna, en caso de ser requerida. En la Tabla 8 se presenta un resumen del sistema de tratamiento. Un esquema de la planta general del sistema, sería similar a la opción 2 disentida antes.

Tabla 8. Resumen del sistema de tratamiento

Laguna	Profund. Total (m)	Ancho medio (m)	Largo medio (m)	Volumen útil (m^3)	TRH (d)	Remoción parcial DQO (%)	Remoción acumulada DQO (%)	DQO Eflu. (mg/l)
Desaceitado	1,40	11,0	33	515	2,5	0	0	74.000
Anaerobias en paralelo(2)	2,80	12,6	75	4.764*	23	85	85	11.109
Facultativa 1	2,30	34,0	68	4.574	22	75	96,2	2.777
Facultativa 2	2,00	28,0	56	2.778	13,5	65	98,7	972

* Volumen útil de las dos lagunas

BALANCE HÍDRICO

Mediante el balance hídrico se puede determinar si por efectos de la lluvia o de la evaporación el sistema de lagunas no vertería ningún efluente o si por el contrario se disminuiría el TRH por exceso de agua.

Al aplicar la ecuación (6) propuesta por Mara et al (1992), se presenta en la Tabla 9 un balance hídrico, considerando una evaporación efectiva promedia de 53 mm/d. La evaporación efectiva es la diferencia entre la evaporación real y la precipitación.

Tabla 9. Balance hídrico del sistema de tratamiento para un caudal de 206 m^3/d, considerando una evaporación efectiva promedia de 53 mm/d

Laguna	Área (m^2)	Evaporación efectiva promedia por laguna (m^3/d)	Caudal de salida (m^3/d)
Dos lagunas anaerobias	1.906*	101	105
Facultativa 1	2.287	121	0
Facultativa 2	1.634	86	0

* Área de las dos lagunas

Como puede verse, en algunos momentos de operación las lagunas no van a verter aguas, lo cual no causa ningún problema al sistema. En periodos muy lluviosos, el efecto es la disminución del TRH por aumento del caudal; sin embargo, el sistema puede adaptarse a esto. Si la zona es demasiado lluviosa, se recomienda hacer diseños más conservadores, con tiempos de retención hidráulica más altos.

CONSIDERACIONES GENERALES

El diseño de un sistema de tratamiento es un proceso iterativo, en el cual una vez se tienen unas dimensiones preliminares, éstas deben ajustarse al terreno, lo cual puede implicar variación en algunas de ellas. El cálculo de la profundidad de la excavación debe tratar de igualar en lo posible los volúmenes de corte y relleno (Uribe 1995a).

Los taludes de las lagunas deben hacerse acorde con el estudio de suelos, sin embargo, se acostumbra usar taludes de 3:1 ó 2:1 para las zonas con agua y taludes de 2:1 ó 1:1 para los exteriores. La berma de las lagunas debe permitir la circulación de carros, tanto para la fase operativa como en la construcción de las mismas. Una cresta entre lagunas entre 3 y 4 m es usada con frecuencia.

REQUERIMIENTOS GUBERNAMENTALES

Para la fecha de publicación de este boletín se sigue trabajando con las reglamentaciones que tenía el Ministerio de Salud a través del Decreto 1598 de 1984 en materia de aguas residuales y con las reglamentaciones específicas de las corporaciones autónomas regionales en su área de jurisdicción. En la Tabla 10 se muestra la reglamentación nacional vigente para los vertimientos de aguas y en la Tabla 11 se muestran las exigencias actuales de algunas corporaciones regionales sobre los vertimientos de plantas extractoras de aceite de palma en su jurisdicción. Se esperan que los nuevos decretos reglamentarios que van a ser emitidos por el Ministerio del Medio Ambiente sean más exigentes.

Tabla 10. Reglamentación Nacional para vertimientos de aguas

Parámetros	Unidad	Usuarios nuevos (después de 1984)	Usuarios Existentes (antes de 1984)
DBO_5	k/d	Remoción del 80%	Remoción del 20%
DQO	k/d	Remoción del 80%	Remoción del 50%
Aceites y grasas	k/d	Remoción del 80%	Remoción del 80%
Materia flotante	———	Ausente	Ausente
Sólidos Suspendidos	k/d	Remoción del 80%	Remoción del 50%
Sólidos Sedimentables	k/d	Remoción del 80%	Remoción del 50%
pH	unidad	5 - 9	5 - 9
Temperatura	°C	40°C	40°C

Tabla 11. Reglamentación exigida por algunas Corporaciones Regionales.

Parámetro	Unidad	Fase I	Fase II	Fase III
DBO_5	mg/l	< 10.000	< 3.000	< 1.000
DQO	mg/l	< 15.000	< 6.000	< 2.000
Aceites y grasas	mg/l	< 1.000	< 300	< 75
Material flotante	———	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos Suspendidos	mg/l	< 2.500	< 1.000	< 600
Sólidos Sedimentables	mg/l	< 2.500	< 1.000	< 600
pH	unidad	5 - 9	5 - 8	5 - 8
Temperatura	°C	< 45	< 45	< 45

En Malasia, primer productor de aceite de palma en el mundo, la reglamentación para el control de los efluentes de plantas extractoras de aceite de palma (EPEAP) se ha venido ajustando. En la Tabla 12 se muestra la evolución de esta reglamentación hasta 1981 (Ma et al 1982).

Tabla 12. Estándar de regulaciones para efluentes de plantas extractoras en Malasia. (Tomado de Ma et al 1982)

Parámetro	Estándar A 1978	Estándar B 1979	Estándar C 1980	Estándar D 1981
DBO_5 (mg/l)	5.000	2.000	1.000	500
DQO (mg/l)	10.000	4.000	2.000	1.000
Aceites y Grasas (mg/l)	150	100	75	50
Nitrógeno Amoniacal (mg/l)	25	15	15	10
Nitrógeno Orgánico (mg/l)	200	100	75	50
Sólidos Totales (mg/l)	4.000	2.500	2.000	1.500
Sólidos Suspendidos (mg/l)	1.200	800	600	400
pH	5,0 - 9,0	5,0 - 9,0	5,0 - 9,0	5,0 - 9,0
Temperatura (°C)	45	45	45	45

BIBLIOGRAFÍA

GARCÍA N., J. A. 1993. Estado actual del manejo de efluentes en Colombia. Palmas (Colombia) v. 14 Número Especial, p. 141 - 147.

GARCÍA N., J. A. 1996. Manejo de efluentes de plantas extractoras. 1. Arranque Operación y mantenimiento de lagunas de estabilización. CENIPALMA. Santafé de Bogotá. 40 p. (Boletín Técnico N°. 10)

MA, A. N.; CHOW C.S.; JOHN C.K.; IBRAIM A.; ISA, Z. 1992. Palm oill mill effluent treatment.- A Survey. In: Regional Workshop on Palm Oill Mill Technology and Treatment. Procedings. PORIM (?), Kuala Lumpur. p 123 - 156.

MARA, D.; ALABASTER, G.; PEARSON, H.; MILLS, S. 1992. Waste stabilisation ponds: A design manual for Eastern Africa. Lagoon Technology International. Overseas Development Administration. Leeds, U.K. p. ?

MONTENEGRO G., H. 1991. Interpretación de las propiedades fisicas del suelo. En: Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y agua para riego. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá, p. 99 - 127.

RIVAS M., G. 1978. Abastecimientos de agua y alcantarillado. 2da. Editorial Vega s.r.l. Caracas. 493 p.

TERZAGHI, K. Y PECK, R.B. 1973. Mecánica de suelos en la Ingeniería Práctica. Segunda Edición. Editorial "El Ateneo". España

URIBE M., L.D.; 1995a. Diseño y construcción de lagunas de estabilización (L.E). El Palmicultor (Ecuador) v. 6 No. 1, p. 19 - 24.

URIBE M., L.D.; 1995b. Lagunas de estabilización (L.E): Operación, mantenimiento y control. El Palmicultor (Ecuador) v. 6 No. 1, p. 25 - 28.

GLOSARIO

Afluente - corriente o flujo de agua residual que entra a un sistema de tratamiento.

Carga Orgánica (CO) - se considera como la concentración del contaminante (expresado como DQO o DBO_5) 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_5/d. ó kg DQO/ m^3/d.

Carga Orgánica Volumétrica (COV) - se considera como la concentración del contaminante (expresado como DQO o DBO_5) 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^3/d. ó kg DBO_5/m^3/d.

Caudal - es la relación que expresa la cantidad volumétrica de un flujo en la unidad de tiempo.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) - 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_5, 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.

Estabilización - es el proceso biológico en el que la materia orgánica sedimentada y la precipitada se estabilizan, 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.

pH - es el potencial de los iones hidrónio. 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 indiferente a la presencia de oxígeno. Estos organismos se conocen como facultativos.

Sedimentación - es la separación de las partículas suspendidas más pesadas que el agua, mediante la acción de la gravedad.

Sólidos Suspendidos (SS) - es el 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 éstos hacen parte los sólidos suspendidos y los disueltos.

Tiempo de retención hidráulica (TRH) - es el tiempo durante el cual una parte volumétrica de un fluido permanece en un sistema. Se expresa como la relación entre el volumen de la estructura y el caudal.

Tratamientos preliminares - son aquéllos que permiten eliminar de un cuerpo de agua objetos voluminosos y abrasivos como estopas, plásticos, arena, cáscara, etc., permitiendo así una mayor efectividad en los tratamientos posteriores.

Tratamientos primarios - son sistemas que permiten remover materiales que pueden sedimentar o que pueden flotar.

Tratamientos secundarios - el objetivo de estos tratamientos es remover la DBO_5 soluble que escapa a tratamientos primarios, además de remover cantidades adicionales de sólidos suspendidos por medio de procesos físico-químicos y/o biológicos.