

Evaluación de lagunas de estabilización

Planta extractora de Monterrey

Evaluation of settlement ponds. Monterrey Palm Oil Mill

JESUS ALBERTO GARCIA NUÑEZ¹
JORGE GARRIDO ALJURE²

RESUMEN

En este artículo se presenta el informe final sobre la evaluación de las lagunas de estabilización en la Planta Extractora de Monterrey. Los objetivos del estudio fueron: evaluar el sistema de tratamiento de las aguas residuales en esta planta, mediante lagunas de estabilización, para obtener parámetros de la carga orgánica admisible que puedan optimizar futuros diseños de estos sistemas, y determinar la evolución del sistema después de siete años de operación. Como el principal tratamiento en las lagunas de Monterrey es anaeróbico, los autores presentan una descripción de los principales procesos, incluyendo la descomposición anaerobia de materia orgánica, los parámetros de control utilizados y las lagunas de estabilización. Se presenta la metodología para los aforos, para la caracterización y muestreo de los efluentes y para la evaluación del nivel de lodos. En los resultados se hace la descripción del sistema, se presentan los aforos de producción de efluentes y del vaciado de la laguna de desaceitado, así como el comportamiento del flujo entre lagunas; se discute la variabilidad del pH con el tiempo, y se presentan los resultados de caracterización a la entrada y salida,

SUMMARY

This article is the final report on the evaluation of settlement ponds at Monterrey palm oil mill. The following were the objectives of the survey: to assess the system used for waste water treatment in settlement ponds, to obtain parameters on the acceptable organic load, which may enhance future designs of these systems, and to determine the performance of the system after seven years of operation. Since waste water treatment in Monterrey is mainly anaerobic, the authors describe the main processes, including anaerobic decay of organic material, control parameters and settlement ponds. The methods of inspection, effluent characterization and sampling, and sludge level assessment are described. In the results the authors describe the system and discuss the methods of inspection of effluent production and dumping into the deoiling pond, as well as the performance of the flow between ponds. pH variability with time is discussed and the results of characterization at the inlet and outlet, including removal percentage and sludge assessment, are reported. It is concluded that Monterrey's ponds operate adequately and that

¹ Ing. Sanitario, Area Plantas Extractoras, CENIPALMA. Apartado Aereo 252171. Santafé de Bogotá, Colombia

² Ing. Sanitario, Director Planta Extractora Monterrey. Cra. 13 No. 48-47. Piso 5o. Santafé de Bogotá, Colombia.

incluyendo el porcentaje de remoción, así como la evaluación de lodos. Se concluye que las lagunas de Monterrey funcionan en forma adecuada y que cumplen con las leyes vigentes en cuanto a los vertimientos, en términos de remoción de materia orgánica. Los autores consideran que los buenos resultados en la laguna anaeróbica 1 (metanogénica) se pueden originar por el acondicionamiento previo en las lagunas de desaceitado, las cuales podrían estar cumpliendo el papel de lagunas acidogénicas. Finalmente, se hacen recomendaciones sobre el estancamiento de lodos, la realización de una caracterización del sistema durante los picos de producción y la realización de una purga de los lodos en las lagunas 2 y 3.

they comply with dumping regulations, in terms of organic matter removal. The authors believe that the good results of anaerobic pond No. 1 (methanogenic) may result from the pre-conditioning of deoiling ponds, which may play the role of acidogenic ponds. Finally, recommendations are made on the sludge tank and the characterization of the system during production peaks. A sludge purge in ponds 2 and 3 is also recommended.

Palabras claves: Plantas Extractoras, Lagunas de Estabilización, Aguas Residuales.

ANTECEDENTES

Para dar cumplimiento al Proyecto remitido con la comunicación CD-301-93 se realizaron dos visitas a las instalaciones de la Planta Extractora de Monterrey. En la primera, efectuada del 28 al 30 de junio de 1993, se recorrieron los sitios de los muestreos y se suprimieron algunos de los parámetros estipulados en el proyecto inicial. De igual forma, y aprovechando la información sobre la variabilidad del epH en las lagunas de tratamiento de aguas residuales que poseía el laboratorio de la extractora, se determinaron los promedios semanales de este parámetro y se relacionaron con la producción, según se muestra en la Tabla 1. Una vez que las directivas de la plantación escogieron la firma para realizar los análisis, se efectuó la segunda visita entre el 26 y el 29 de octubre del mismo año, en la cual se ejecutó el trabajo de campo programado. Con los resultados obtenidos en las visitas se entrega el presente informe final.

Vale la pena anotar que la Unidad de Investigación y Gestión Ambiental delINDERENA-Regional Santander, según Informe Técnico No. 016, indicó una serie de actividades que se debían realizar como consecuencia de la emergencia presentada en abril de 1993. Dentro de estas actividades se encontraba el análisis del sistema a la entrada y salida del mismo, con el fin de actualizar los datos sobre la eficiencia del proceso; del mismo modo se pedía la actualización de la medición de los

caudales tratados y la evaluación de la profundidad de las lagunas para determinar su recuperación. El estudio de estas recomendaciones fue objeto primordial del presente trabajo, dado que ellas encajaban dentro del plan trazado para el Área Plantas Extractoras de CENIPALMA. Las otras actividades recomendadas por elINDERENA fueron desarrolladas por la plantación.

En la planta extractora de la empresa Promociones Agropecuarias Monterrey fue quizá la primera en Colombia en donde se trataron adecuadamente los efluentes producidos en el proceso de extracción de aceite de palma. El sistema empleado consta de cuatro lagunas de estabilización antecedidas de dos baterías de seis estanques cada una, en las cuales se hace la recuperación de aceite ácido (Fig. 1).

OBJETIVOS

Evaluar el sistema de tratamiento de aguas residuales de la planta extractora de Monterrey, mediante lagunas de estabilización, con el fin de obtener parámetros de la carga orgánica admisible que puedan optimizar los futuros diseños de estos sistemas en otras zonas del país.

Determinar la evolución del sistema después de siete años de operación y decidir si es necesario la purga de lodos para aumentar su eficiencia.

FUNDAMENTO TEORICO

Dado que el principal tratamiento ocurrido en las lagunas de Monterrey es anaeróbico, se presenta a continuación una descripción de los principales procesos ocurridos con el fin de facilitar una mejor comprensión en el manejo de los resultados y en las recomendaciones hechas en el presente informe.

Descomposición anaerobia de la materia orgánica

Los compuestos orgánicos, medidos como demanda química de oxígeno (DQO), que pueden ser usados como sustrato (DQO biodegradable) son descompuestos por la combinación de cuatro grupos de microorganismos: bacterias fermentativas, bacterias acetogénicas, bacterias metanogénicas autotróficas y bacterias metanogénicas acetoclásticas. Dependiendo del grupo de bacterias que esté actuando, el proceso anaerobio puede resumirse en las siguientes fases: hidrólisis, acidificación o fermentación, acetogénesis y metanogénesis.

En la primera fase, los sustratos poliméricos son hidrolizados por enzimas extracelulares, producidas por las bacterias fermentativas, a sustratos monoméricos, los cuales son consumidos por estas bacterias en la segunda fase, produciendo ácidos grasos volátiles (AGV), hidrógeno y metanol. Las bacterias acetogénicas toman el sustrato anterior para convertirlo, en la tercera fase, a H_2 y C_2 . Finalmente, estos productos son convertidos a CH_4 por bacterias metanogénicas en la cuarta fase de la degradación (Zegers 1987; Rojas 1987). Para trabajos prácticos de campo sólo se consideran dos fases: la fase acidogénica que involucra la hidrólisis, la fermentación y parte de la acetogénesis y la fase de metanogénesis que coincide con la cuarta fase ya mencionada.

Para que la degradación sea eficiente debe existir un equilibrio entre los diferentes grupos de bacterias. Así, mientras los residuos metabólicos de los grupos acidogénicos y acetogénicos causan un descenso en el pH por la acumulación de AGV, las bacterias metanogénicas aumentan este valor por la conversión del CO_2 en bicarbonato, el cual neutraliza la acidez. Dado que este último grupo de microorganismos disminuye su actividad a valores de pH ácidos, es muy importante mantener un equilibrio entre producción y consumo de los AGV (Schellinkhout 1990). Como complemento a lo anterior, debe también controlarse la temperatura y balancearlos nutrientes para garantizar un crecimiento bacteriano óptimo.

Parámetros de control

Para controlar el comportamiento de los sistemas anaerobios es necesario cuantificar principalmente los siguientes parámetros: Demanda Química de Oxígeno (DQO), Ácidos Grasos Volátiles (AGV), Potencial de Hidrógeno (pH), Temperatura (T) y Alcalinidad.

Sin embargo, es necesario otro tipo de control como lo es la Carga Orgánica (CO), la cual determina la cantidad de materia orgánica aplicada al sistema (Ecuación 1) y viene dada en kg DQO o DBO/día. Al relacionar la CO con el volumen de la laguna se tiene la carga orgánica volumétrica (COV) (Ecuación 2) que determina la cantidad de materia orgánica aplicada por cada metro cúbico por día (kg DQO/m³. d). La COV está relacionada con la concentración de la DQO, el caudal y el volumen del reactor (o laguna en este caso).

Tabla 1. Promedio semanal de pH. Las lagunas de tratamiento de aguas residuales. Planta Extractora de Monterrey. 1993.

Semana	Lagunas				Kilos Procesados	
	1	2	3	4	Producción*	Promedio**
01-04 A 01-09	5,50	7,02	8,13	8,26	1.482.901/5	296.580
01-12 A 01-06	5,92	7,18	7,95	8,09	1.193.872/5	238.734
01-18 A 01-23	5,39	7,38	7,79	7,83	2.146.740/6	357.790
01-25 A 01-30	5,07	6,04	7,64	7,80	2.049.738/6	341.623
02-02 A 02-06	5,01	7,19	7,90	7,97	1.459.533/5	291.907
02-02 A 02-10	4,83	6,67	6,62	7,67	1.721.335/6	286.889
02-15 A 02-20	4,66	5,80	7,67	7,88	1.943.218/6	323.870
02-22 A 02-27	4,72	6,05	7,71	7,58	1.966.847/6	327.808
03-01 A 03-06	4,50	6,16	7,94	7,88	1.944.732/6	324.122
03-08 A 03-13	4,59	7,57	7,88	8,03	1.820.416/6	303.403
03-15 A 03-20	4,65	6,80	7,38	8,09	1.886.104/6	314.351
03-23 A 03-27	4,44	6,99	7,33	7,62	1.588.875/5	311.775
03-29 A 04-03	4,60	6,76	7,28	7,47	2.123.738/6	353.956
04-05 A 04-07	4,54	6,13	7,38	7,59	1.563.776/3	521.259
04-12 A 04-17	4,66	4,24	6,80	7,40	2.485.602/7	355.086
04-19 A 04-24	4,54	4,69	6,85	7,37	2.787.494/6	464.582
04-26 A 04-30	4,59	4,73	5,61	7,50	2.040.723/5	408.145
05-03 A 05-07	4,61	4,85	5,08	7,73	2.142.601/6	357.100
05-10 A 05-14	4,59	4,78	4,98	7,40	1.515.755/6	252.626
05-17 A 05-21	4,72	4,94	6,33	7,92	1.945.462/6	327.577
05-26 A 05-29	4,74	5,13	7,24	8,09	862.129/4	215.532
05-31 A 06-05	4,83	5,44	7,48	8,22	931.715/5	186.343
06-07 A 06-12	5,33	5,77	7,07	7,73	1.111.523/6	185.254
06-15 A 06-19	5,69	6,24	7,46	7,84	874.063/5	174.813
06-22 A 06-26	5,91	6,37	7,26	7,94	877.290/5	175.458
06-28 A 07-03	6,06	6,57	7,54	7,99	663.399/5	132.680
07-06 A 07-10	6,19	6,58	7,50	8,02	900.647/5	180.129
07-12 A 07-17	6,66	7,05	7,82	8,21	789.811/6	131.635
07-19 A 07-24	6,67	7,05	7,90	8,36	521.600/5	104.320

* Producción en kg de fruta semanal/días trabajados.

** Promedio diario de procesamiento por semana.

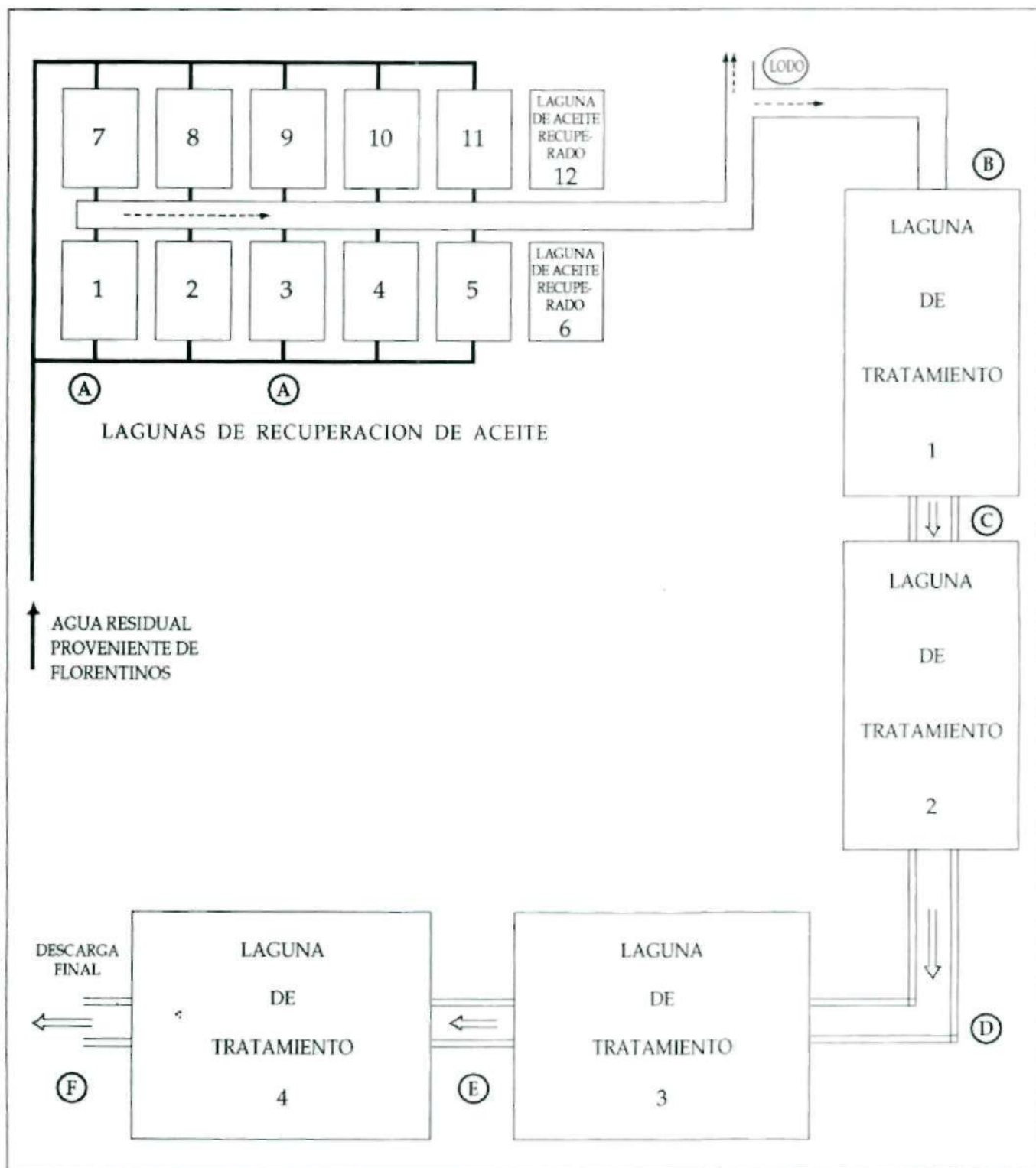


Figura 1. Esquema de tratamiento. Extractora de Monterrey.

○ Puntos de muestreo

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

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

donde:

CO = Carga orgánica en kg DQO/d

COV = Carga orgánica volumétrica en kg DQO/m³.d

C = Concentración de DQO en el efluente en kg/m³

Q = Caudal aplicado en m³/d

V = Volumen útil del reactor en m³

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

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

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

Otros parámetros de importancia son: la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) que da una medida de la materia orgánica biodegradable aeróbicamente, los Sólidos Suspendidos Totales (SST) y los Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV), estos dos últimos se asocian generalmente con los microorganismos (biomasa).

Lagunas de estabilización

Los procesos biológicos que ocurren dentro de una laguna son principalmente interacciones entre diversos grupos de bacterias que convierten los compuestos contaminantes (grandes cadenas de carbono) en otros más estables como CH₄, CO₂ y H₂ principalmente.

Para que estas interacciones sean eficientes es necesario que exista un equilibrio entre los grupos de microorganismos. Las diferentes condiciones ambientales y de operación tales como pH, altura del nivel del agua, cantidad de desechos suministrado y tiempo de permanencia del agua en la laguna, entre otros, pueden originar, si no se manejan adecuadamente, trastornos que conllevan a la muerte completa de los grupos bacteriales, disminuyendo, por tanto, el tratamiento del desecho.

El sistema más empleado de tratamiento de los efluentes de extractoras de palma de aceite son las lagunas de estabilización. Sin embargo, la falta de un diseño apropiado, el desconocimiento de los procesos de degradación y el deficiente mantenimiento de estos, han hecho que en la mayoría de los casos, los sistemas se saturen rápidamente y no cumplan con los objetivos deseados. De 30 extractoras encuestadas por CENIPALMA, 16 poseen sistemas de lagunas, de las cuales, no más de cinco (17%) podría decirse que funcionan adecuadamente. La falta de datos de los

diferentes parámetros ha impedido una evaluación más apropiada de las lagunas (García 1993).

En Malasia, el 64% de las extractoras usan sistemas biológicos, anaerobios, facultativos y aerobios. El tiempo de retención hidráulico de las lagunas anaerobias varía de 60 a 140 días. Se tiene un tiempo de retención hidráulico de 80 días con la presencia de recirculación, obteniéndose DBO más bajos de 2.000 mg/l. El nivel de O₂ en la descarga de los sistemas de tratamiento es como mínimo 1 mg/l (Yueh Chuen 1981).

Según la teoría de diseño de lagunas en Colombia, empleada principalmente en el tratamiento de aguas residuales domésticas, las cargas de trabajo de las lagunas anaeróbicas son del orden de 0,4 kg DBO/m³ - día, lo cual equivale a aproximadamente 1 kg DQO/m³ - día (Millán 1990). En la actualidad se han encontrado sistemas con cargas que triplican estos valores. De igual forma, los TRH recomendados son del orden de 5 días, mientras que como ya se mencionó, el TRH para el tratamiento del desecho en cuestión son mayores a 30 días.

Un punto de especial interés que reporta la literatura y se ha encontrado en Colombia es el de dividir la digestión anaerobia en dos fases: fase acidogénica y fase metanogénica. En la primera fase, los TRH usados están entre 1-5 días y las cargas de trabajo entre 12-25 kg DQO/m³ - día; en esta etapa se presenta un acondicionamiento técnico de descomposición para que en el paso siguiente (fase metanogénica) el grupo bacterial más específico trabaje en forma eficiente.

El diseño hidráulico de una laguna debe ser tal que se minimicen las zonas muertas y los cortos circuitos; se ha visto el caso de lagunas con grandes volúmenes que debido a estos problemas no usan más del 40% de su capacidad volumétrica.

Como complemento a las lagunas anaeróbicas se encuentran las lagunas facultativas y las aerobias. En las primeras existe degradación aeróbica en la parte superficial y degradación anaeróbica en el fondo. En las segundas, el principal proceso es aeróbico teniendo como finalidad acabar de pulir el efluente.

METODOLOGIA

Aforo

Con el fin de cuantificar los caudales de agua residual producidos por la planta extractora, se determinó el

tiempo que demoraba en llenarse un volumen determinado en las lagunas de recuperación de aceite. Para la composición de las muestras en las diferentes lagunas se determinó el caudal entre las mismas por medio de mediciones de la velocidad del agua en un tramo de geometría conocida. En la salida del sistema de lagunas, el aforo se hizo volumétricamente.

Caracterización y muestreo

Los efluentes de la extractora y los de cada una de las lagunas se caracterizaron en un tiempo aproximado de 4 horas para cada sistema y un tiempo total de muestreo de 6 horas. En la Tabla 2 y Figura 1 se presentan los puntos de muestreo. La nomenclatura usada en el presente informe para los parámetros a determinar es: Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días (DBO₅), Nitrógeno Total (N-Total o NTK), Nitrógeno amoniacal (N-NH₃), Sólidos Totales (ST), Sólidos Suspendedos (SS), Sólidos Sedimentales (S Sed.), Aceites y Grasas (A y G), Fósforo Total (P-Total), Ácidos Grasos Volátiles (AGV), Alcalinidad, Oxígeno Disuelto (OD), pH y temperatura. Para la determinación de los anteriores parámetros se usaron metodologías aprobadas por la AWWA y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (EPA), así como también se usaron algunas pruebas empleadas en la Universidad de Wageningen de Holanda.

Evaluación de cargas contaminantes

Con base en la información obtenida en los puntos anteriores y en la cuantificación de los volúmenes medidos de los estanques (trabajo adelantado por la plantación) se determinaron las cargas contaminantes en términos

Tabla 2 Puntos de muestreo.

Asignación	Ubicación punto de muestro
A	Llegada de agua residual a las lagunas de desaceitado proveniente de la planta extractora
B	Canal a la salida de las lagunas de desaceitado, llegada a la laguna 1 de tratamiento
C	Llegada a la laguna de tratamiento 2 a través del canal de interconexión con la laguna 1
D	Llegada a la laguna de tratamiento 3 a través del canal de interconexión con la laguna 2
E	Llegada a la laguna de tratamiento 4 a través del canal de interconexión con la laguna 3
F	Salida de la laguna 4 y del sistema de tratamiento en general
Lodo	Canal que conduce a la zanja de lodos. Este canal es el mismo del punto B, con la diferencia que la muestra se toma cuando desvían las aguas del sistema de tratamiento

de kilogramos de DBO o DQO por metro cúbico de estanque por día(kgDQOoDBO/m³-día). Así como también se analizó el comportamiento de los contaminantes en cada etapa.

Evaluación nivel de lodos

Se determinó un perfil de lodos midiendo el fondo de la laguna y la altura a la cual se encontraban los lodos con respecto a la altura del nivel de agua. Esta determinación se hizo desde un bote, usando regletas marcadas y acondicionadas para tal fin (Fig. 2).

RESULTADOS Y ANALISIS

Descripción del sistema

La capacidad de la planta extractora de Monterrey es de 231 RFF/h. Dentro de las misma planta se cuenta con dos baterías de florentinos de 95 y 33 m³, respectivamente, para un volumen total de 128 m³, en los cuales se recupera aceite para retornarlo al proceso. Las aguas del desecho son bombeadas aproximadamente 1 km hasta el sistema de tratamiento, conformado por 2 baterías de lagunas de recuperación de aceite o lagunas de desaceitado (6 por batería), que funcionan por baches, con una capacidad unitaria de aproximadamente 276 m³, seguidas por otras cuatro lagunas que trabajan en serie, con una capacidad promedia de 600 m³ cada una. En la Figura 1 se muestra la distribución de las mismas. Este sistema de tratamiento se diseñó en 1987 con la asesoría del Sr. Lee Yew Foing y el montaje se hizo bajo la dirección del Ing. Jairo Prada.

El agua proveniente de la extractora llega a una laguna de desaceitado. Una vez llena, el flujo se desvía a otra de las lagunas de recuperación de aceite. En épocas de máxima producción se alcanzan a llenar hasta dos lagunas en el día y del mismo modo se desocupan otras dos. Según lo anterior, el tiempo que demora el agua en permanecer en las lagunas de desaceitado oscila entre 5 y 10 días aproximadamente. Durante este tiempo, los operarios del sistema sacan el aceite que se encuentra en la parte superficial por medio de una bomba (Fig. 3) hacia unas lagunas en las que se almacena. De éstas, el aceite se traspasa a carrotanques para su posterior venta como aceite ácido. El agua que queda en la laguna, una vez se ha efectuado el desaceitado, se vacía, según el criterio del operario, a la zona de lodos (depresión natural) o a las lagunas de tratamiento propiamente dichas. Generalmente, el primero y el último flujo que salen de las lagunas de recuperación de aceite, los mandan directamente a la



Figura 2. Medición del perfil de lodos.

zona de lodos y el resto a las lagunas de tratamiento. El criterio usado por el operario es la densidad visual del flujo, es decir cuando está muy «grueso» se manda al estanque de lodos y cuando está más «aguado» lo manda a las lagunas.

Aforos y caudales

Aforo de producción de efluentes de la planta extractora

Las producciones de la planta extractora durante los días del muestreo fueron:

Octubre 27 de 1993	215.094 kg de RFF
Octubre 28 de 1993	382.654 kg de RFF
Octubre 29 de 1993	394.280 kg de RFF

Debido a la forma trapezoidal de las lagunas para aforar el caudal según lo referido en la Metodología sobre Aforo, se midieron las dimensiones a lo largo y ancho de la laguna en un tiempo t . En el siguiente diagrama se muestra un corte transversal de las lagunas de desaceitado con algunas dimensiones.

- bi: Ancho inicial.
- bf: Ancho después de un tiempo, t .
- hi: Nivel del agua inicial.
- hf: Nivel del agua después de t .

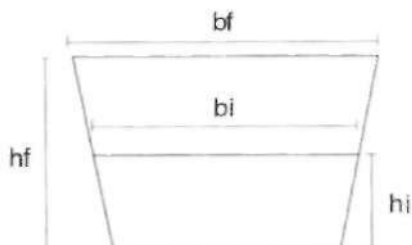


Figura 3. Recuperación de aceite en lagunas de desaceitado.

Según el diagrama, el volumen V ocupado por el agua en un tiempo t viene dado por la siguiente expresión.

$$V = ((li + lf)/2) \times ((bi + bf)/2) \times (hf - hi) \quad (5)$$

donde:

- li: Largo inicial.
- lf: Largo después de un tiempo t .
- bi: Ancho inicial.
- bf: Ancho después de un tiempo t .
- hi: Nivel del agua inicial.
- hf: Nivel del agua después de un tiempo t .

El día 27 de octubre se aforó la laguna 3 de desaceitado desde las 11:43 a.m. hasta las 3:20 p.m. (3,62 horas), obteniéndose los siguientes resultados:

li = 20,20m	lf = 23,66m
bi = 7,50m	bf = 9,05m
hi = 0,57m	hf = 0,86m

De lo anterior, el volumen V es de $52,63 \text{ m}^3$ y el caudal Q promedio es de $14,54 \text{ m}^3/\text{hora}$. Al relacionar este valor con la capacidad de la planta se obtendría una relación de efluente producido por cada tonelada de fruta procesada de $R = 0,68 \text{ m}^3$ de agua/ t RFF.

De igual forma, el día 28 se aforó la laguna 1 de desaceitado desde las 7:55 a.m. hasta las 12:30 p.m. (4,58 horas) obteniéndose los siguientes resultados:

li = 21,32m	lf = 22,80m
bi = 7,00m	bf = 7,62m
hi = 0,68m	hf = 1,00m
$V = 51,60 \text{ m}^3$	$Q = 11,27 \text{ m}^3/\text{hora}$
$R = 0,50 \text{ m}^3$ de agua/ t RFF	

Posteriormente, el Ing. Jorge Garrido realizó un aforo bajo las mismas condiciones expuestas anteriormente, obteniendo para un tiempo de 10 horas un valor de $R = 1,0$. Con los datos anteriores se puede decir que el valor de R es de $0,736 \text{ m}^3$ de agua/t RFF, lo cual equivaldría a un caudal máximo en las épocas pico de producción de:

$$Q \text{ Máx.} = (23 \text{ t RFF/hora}) \times (0,736 \text{ m}^3 \text{ de agua/t RFF}) \times (24 \text{ horas/día}) \\ = 406 \text{ m}^3 \text{ de agua/día}$$

Aforo del vaciado de la laguna de desaceitado

Siguiendo la metodología empleada para el aforo anterior, se aforó el vaciado de la laguna 9 de desaceitado. El tiempo del aforo duró de las 8:23 a.m. a las 11:00 a.m. (2,62 horas). Los resultados fueron:

$l_i = 20,23\text{m}$	$l_f = 18,18\text{m}$
$b_i = 8,48\text{m}$	$b_f = 6,31\text{m}$
$h_i = 1,34\text{m}$	$h_f = 0,63\text{m}$
$V = 100,93\text{m}^3$	$Q = 38,52\text{m}^3/\text{hora}$

Durante los primeros 47 minutos, toda el agua que salía se dirigía hacia el estanque de lodos: después, el flujo se orientaba hacia las lagunas de tratamiento. Desde el momento en que se terminó el aforo transcurrió media hora más para que la laguna se desocupara totalmente. Este último flujo también se dirigió hacia el estanque de lodos.

Según lo anterior, el tiempo durante el cual entro agua a la laguna fue de 1,84 horas, que según el caudal promedio estipulado corresponde a un volumen de $71 \text{ m}^3/\text{día}$. Como se ha mencionado antes, en épocas de máxima producción se vacían hasta dos lagunas de desaceitado, lo cual correspondería a 142 m^3 de agua que le entrarían al sistema de tratamiento por día.

Valga aclarar que para la obtención de los datos anteriores se permitió que los operarios del sistema trabajaran normalmente: sin embargo, como las decisiones de desviar los flujos corresponden a apreciaciones de los mismos, que son muchas veces cambiantes según «como esté moliendo la fábrica», los resultados presentados dan una interpretación del trabajo global del sistema con un cierto margen de error.

Comportamiento del flujo entre lagunas

Para componer las muestras en los diferentes puntos fue necesario medir el caudal. En la Tabla 3 se presentan las horas de la toma de muestras, los puntos donde se realizó y los

Tabla 3. Sistema de tratamiento. (Caudales en litros por segundo) (Valores usados en la integración de las muestras).

Hora	Puntas de toma de muestras					
	A	B	C	D	E	F
8,00	5,60					
8,73		20,06				
8,83	2,83					
9,10		19,69				
9,42			1,91			
9,58				0,83		
9,75					0,29	
9,92						0,0
10,17	5,78					
10,83	1,21					
11,50		15,17				
11,75			3,00			
11,83				1,28		
12,00					0,53	
12,17						0,24
12,67	4,50					
12,83		12,60				
13,00			3,93			
13,17				4,62		
13,25					2,41	
13,42						0,26
13,67			3,77			
13,75				4,19		
13,85					0,41	
14,00						0,63

caudales. De estos datos se obtuvo la gráfica de la Figura 4, donde se ve el efecto de equalización de las lagunas.

Variabilidad del pH con el tiempo

En la Tabla 1 se muestran los promedios semanales en la variabilidad del pH según la producción. De estos datos se obtuvieron las gráficas de las Figuras 5A y B en las cuales se ve la estrecha relación entre las dos variables. Se observa como el pH de la laguna 1 se mantiene bastante bajo, lo cual indica que esta laguna trabaja acidificada, es decir, en el proceso de conversión de la materia orgánica a productos más estables se cumple una función intermedia. La laguna 2 presenta una tendencia a disminuir su pH por debajo de 6,5 en los periodos de máxima producción, lo que indica que su trabajo en estos momentos es de acidificación y el resto de tiempo como laguna metanogénica. La laguna 3 presenta un comportamiento similar a la laguna 2 pero con mayor capacidad de absorber la acidez presente en el medio. Por último en la laguna 4, la influencia del mayor procesamiento de fruto por mayor carga orgánica que le entra al sistema no se hace evidente, pues las antecesoras han logrado amortiguar estos picos de producción.

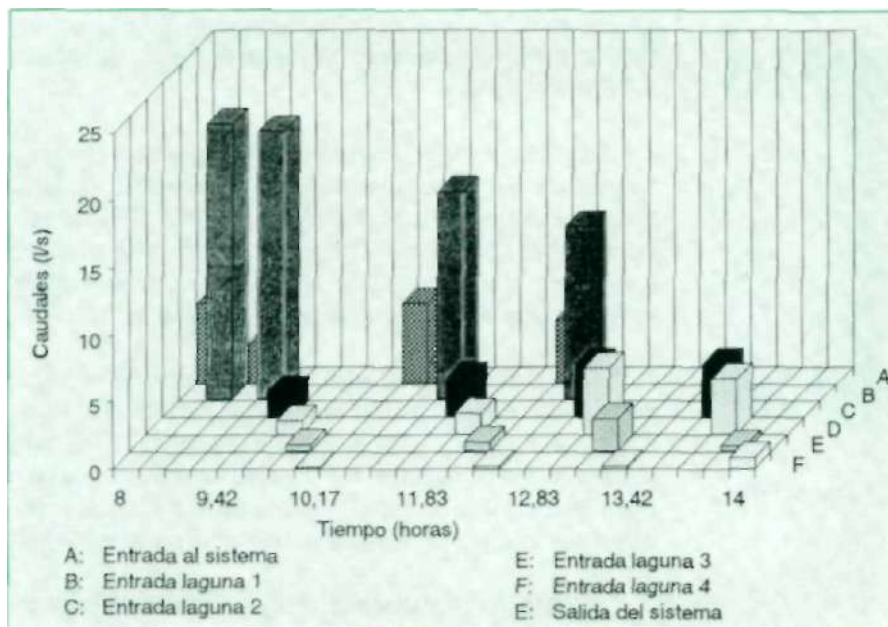


Figura 4. Efecto de equalización de caudales

En la Tabla 5 se puede apreciar que el valor de la alcalinidad de la laguna 1 (muestra C) es bastante bajo (686 mg/l), lo cual corrobora el análisis anterior en el sentido de que este parámetro no alcanza a amortiguar la cantidad de ácidos grasos presentes en el medio (164,2 mg/l). La alcalinidad de la laguna 2 sube apreciablemente, lo que ayuda a amortiguar de mejor manera los AGV.

Resultados de la caracterización

Durante el 15 y el 19 de julio de 1991 se hicieron muestreos para evaluar la calidad del tratamiento (estudio

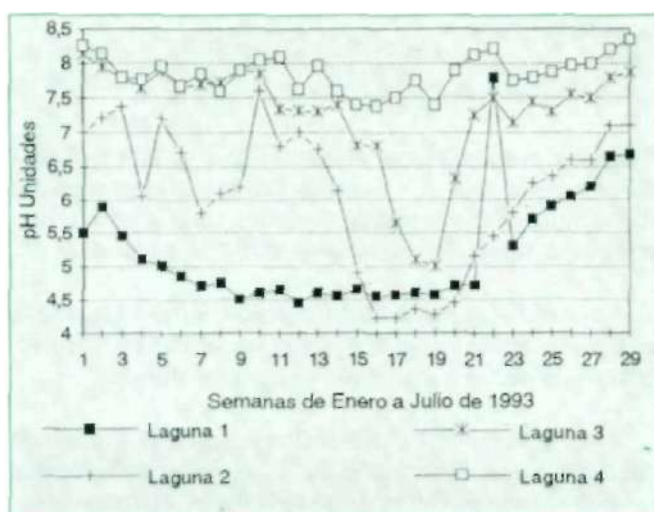


Figura 5a. Variación del pH Lagunas de Monterrey

realizado por CIQA). Algunos resultados extractados de ese informe se presentan en la Tabla 4.

Es de aclarar que estos porcentajes de remoción no son del todo tan confiables, ya que durante los muestreos hubo dos días de lluvias, lo cual puede haber ayudado a diluir las cargas; sin embargo, lo anteriormente citado si da una buena idea de que el sistema está funcionando bien.

En la Tabla 5 se condensan algunos de los resultados obtenidos durante el muestreo. El punto A corresponde a la salida de los florentinos y llegada al sistema general, el punto B a la salida de las lagunas de desaceitado, el C es el punto entre la laguna 1 y 2, el D está ubicado entre la laguna 2 y 3, el E es el punto entre la laguna 3 y 4, el F es el punto final a la salida del sistema (Fig. 1). El punto señalado como lodo corresponde al efluente de las lagunas de desaceitado que es conducido al estanque de lodos.

En la Tabla 4, los datos de entrada a la laguna son similares a los del punto B de la Tabla 5 y los resultados de la salida de la laguna de la Tabla 4 corresponden al punto F de la Tabla 5. Al compararlos, se nota, en general, que en la última caracterización los valores en la descarga han disminuido, así, la DQO disminuyó de 1.032 a 141 mg/l, la DBO bajó de 653 a 130 mg/l, las grasas y aceites de 64,9 a 17,25 mg/l. Los anteriores resultados muestran como el sistema ha permanecido estable en el lapso de tiempo entre las dos

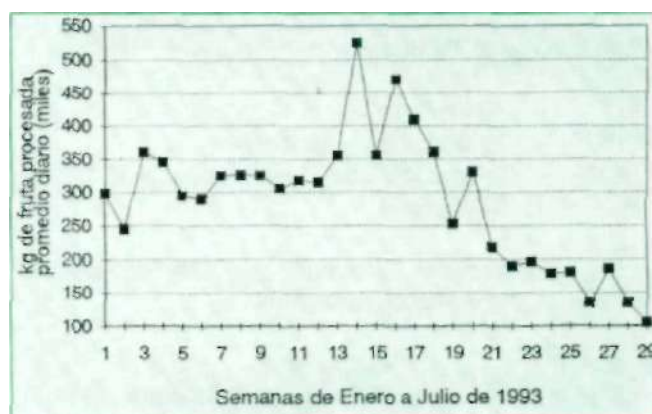


Figura 5b. Promedio Semanal de FF procesada

Tabla.4. Resultados caracterización. 1991.

Parámetro	Entrada laguna	Salida laguna	% remoción
pH	3,87	7,89	—
ST(mg/l)	39.262	3.643	91
SD (mg/l)	12.562	3.461	72
SS (mg/l)	21.210	121	99
SSed. (mg/l)	866	0,28	99
DQO (mg/l)	56.952	1.032	98
DBO5 (mg/l)	20.760	653	97
Aceites y Grasas	11.720	64,9	99
NTK (mg/l)	523,6	135,7	74
Nitratos	246,2	8,11	97
P (mg/l)	1,2	0,2	83
Fenoles (mg/l)	3.452	121	96

* Tomado del informe presentado por el CIQA

caracterizaciones y se podría suponer que su eficiencia ha aumentado.

Cumplimiento de la legislación

El Decreto 1594 de junio 26 de 1984, emitido por el Ministerio de Salud, regula los vertimientos a nivel nacional. En el Artículo 72 fija algunas normas de vertimiento, las cuales son el 80% de remoción en carga para la DBO, grasas y aceites y sólidos suspendidos. La carga orgánica (CO), según se mostró en la ecuación 1, viene dada por la siguiente expresión:

$$CO = Q \times C$$

donde

Q = Caudal del efluente en m³/día

C = Concentración de la sustancia contaminante en kg/m³

CO = Carga orgánica en kg/día.

Si se considera el caudal máximo en picos de producción de Q. Max = 404 m³/día y asumiendo que el caudal que entra es igual al que sale (condiciones más críticas) se tendría para la DBO la siguiente carga producida por la fábrica.

$$Q = 404 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$CO = 25.300 \text{ mg/l} = 25,3 \text{ kg/m}^3$$

$$CO \text{ Producida por la extractora} = 10.221 \text{ kg DBO/día}$$

En forma similar, la carga que sale del sistema asumiendo el mismo caudal sería:

$$Q = 404 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$C = 130 \text{ mg/l} = 0,13 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Carga de salida} = 52,52 \text{ kg DBO/día}$$

Por lo tanto, la remoción sería del 99,5% en las condiciones más críticas, la cual es superior al 80% de la norma exigida.

Siguiendo un procedimiento similar para las grasas y aceites (G y A) y para los sólidos suspendidos (SS), se tendrían remociones de carga del 99,9% y 99,6%. respectivamente, en condiciones críticas: portante si se cumplen la legislación en este estado, con mayor razón se cumple la legislación en las condiciones normales de trabajo.

En el Decreto 1954 de 1984 hay otro criterio de vertimiento que hace referencia a la fuente donde se hace la descarga y a los usos que esta tiene. En el presente informe no se hace esa evaluación, pues se desconoce el uso del agua para la laguna de Montecristo, donde se desaguan los efluentes del sistema de tratamiento.

Los datos encontrados en el efluente final del sistema de tratamiento de la planta extractora de Monterrey cumplen los requerimientos más exigentes para este tipo de desecho que existen a nivel nacional, los cuales fueron promulgados por CORPONARIÑO.

Un punto de especial importancia que hay que resaltar, es el hecho del desvío de las aguas residuales que salen de las lagunas de aceitado y no entran al sistema de lagunas en serie. De la Tabla 5 se puede apreciar que la concentración de DQO que sale para el estanque de lodos es aproximadamente igual al que viene de la planta extractora (75.000 mg/l de DQO), mientras que el agua que entra a las lagunas es de alrededor de 50.000 mg/l de DQO. Este hecho reviste importancia pues no se sabe hasta qué punto ese estanque de lodos esté contaminando la laguna o cuál es su capacidad de almacenamiento.

Evaluación de cargas

Con la carga hallada antes de CO = 10.221 kg DBO/día, se tiene que la extractora de Monterrey produce contaminación por materia orgánica equivalente a una población de aproximadamente 200.000 personas.

Por ser la laguna de tratamiento 1 la que efectúa la mayor remoción y regula el sistema, se hará énfasis en el análisis de las cargas que tiene que soportar.

Al tratar sobre el aforo del vaciado de la laguna de desaceitado se determinó que el volumen que le entra a la primera laguna, después de ejecutado el desaceitado, es de 71 m³/día. Considerando este valor y la concentración

de DQO de la Tabla 5, punto B de 49.820 mg/l (49,82 kg/m³) se tendría que la carga de entrada a la primera laguna es de 2.296 kg DQO/día, según la ecuación 3.

Para relacionar el valor hallado anteriormente con la capacidad de la laguna, se determina la COV (ecuación 2) o carga orgánica que entra a la laguna. Aplicando dicha ecuación para un volumen de laguna de 600 m³ se tiene que la carga admitida por la primera laguna es de:

$$\begin{aligned} \text{COV} &= (2.296 \text{ kg DQO/día}) / (600 \text{ m}^3) \\ \text{COV} &= 5,0 \text{ kg DQO/m}^3 - \text{ día} \end{aligned}$$

Este dato es muy importante, ya que tiene un valor relativamente alto si se compara con otros sistemas en el país, en los cuales se han encontrado COV de 3,5 hasta 4,5 kg DQO/m³ - día (datos de CENIPALMA sin publicar), los cuales en su momento se consideraron elevados. Este valor, por otro lado, justifica el comportamiento analizado sobre la variabilidad del pH y de su trabajo como laguna acidogénica. Lo que llama mayormente la atención es el hecho de que las remociones son muy elevadas (Tabla 5, puntos B y C, a la entrada y salida de la laguna 1) para ser laguna acidogénica, lo que indicaría que la población metanogénica se ha adaptado a la acidez, logrando conversiones a CH₄ y CO₂ bajo condiciones que la literatura considera inapropiadas, en las cuales la presencia de AGV están en forma no ionizada que es la forma tóxica para las bacterias metanogénicas (Zegers 1987). Sería conveniente analizar, en épocas picos de producción, la remoción de DQO en esta laguna, puesto que como se dijo anteriormente el volumen que le entraría sería de aproximadamente 142 m³ para una VCO de 10 kg DQO/m³ - día y un pH por debajo de 5 (Tabla 1 para épocas de máxima producción), lo cual

haría que la acidificación del medio fuera mayor, pues como se aprecia en la Tabla 5, la alcalinidad es muy baja (686 mg/l) para amortiguar este exceso de ácidos. Se consideran como alcalinidades buenas para sistemas anaerobios aquellas mayores de 2.000 mg/l.

Balance de nutrientes

El balance de nutrientes recomendado para sistemas anaerobios, con respecto a la relación DQO: Nitrógeno: Fósforo (DQO:N:P), es de 350:7:1. Considerando los datos de las caracterizaciones se encontró que el desecho tiene déficit tanto de nitrógeno (NTK) como de fósforo (P). No obstante, este déficit de nutrientes parecer ser que no ha sido factor limitante en la degradación del residuo.

De otro lado, al comparar los valores de N y P en las dos caracterizaciones presentadas, se nota una gran diferencia que se supone sea motivada por el manejo agronómico que se le da al cultivo en lo que respecta al balance de nutrientes, tipo de suelos y fertilización, entre otros.

La materia orgánica medida como DBO o DQO presenta una variabilidad en los efluentes de plantas extractoras, aumentando en el transcurso de la semana (datos obtenidos en la plantación Palmar de Manavire por CENIPALMA sin publicar) debido al trabajo continuo de la fábrica, su relación con los nutrientes nitrógeno y fósforo depende más de la parte agronómica.

En los dos casos analizados arriba se nota una buena degradación del substrato, así el balance nutricional no fuera el óptimo.

Tabla 5. Resultados condensados caracterización Octubre de 1993. (Valores en mg/l excepto pH y Temperatura). Promociones Agropecuarias Monterrey.

Parámetro	A	B	C	D	E	F	Lodo
DQO*	74.730	49.820	1.594	196	150	141	75.563
DBO5*	25.300	13.600	1.200	152	138	130	—
NTK*	175	103	101	68	55	50	—
N-NH4*	7	10	13	63	42	23	—
ALK.*	16	29	686	2203	1794	1449	—
AGV*	184,7	138,5	164,2	6,2	6,7	11,3	—
PT*	94,2	113,8	72,7	33,0	38,4	37,2	—
pH&	4,60	4,72	6,03	7,48	8,20	8,69	—
G Y A&	5.265	2.539	—	—	—	17	—
S.T.&	43.309	21.560	5.568	4.176	3.646	3.389	—
S.S.&	29.528	14.442	212	36	28	23	—

* Valor de muestras integradas durante cuatro horas

& Valor Promedio de 4 mediciones puntuales

En la Tabla 5 es interesante notar cómo el nitrógeno total (NTK) va disminuyendo paulatinamente a través del proceso de degradación, siendo incorporado, muy seguramente en el lodo bacterial del fondo. De otra forma, el nitrógeno amoniacal (N-NH₄) empieza a subir progresivamente para llegar a un punto máximo en la salida de la laguna 2 (63 mg/l) y disminuir al final del tratamiento. En la Tabla 6 se nota que empieza a haber oxígeno disuelto (OD) en la laguna 3 y aumenta en la 4, correspondiendo directamente con la

disminución del $N-NH_4$. De lo anterior se puede inferir que las lagunas 1 y 2 trabajan anaeróbicamente, por lo cual el $N-NH_4$ es resultado de estos procesos; mientras que en las lagunas 3 y 4 que se asumen sean facultativas (aeróbicas en la parte superficial y anaeróbicas en el fondo), las reacciones microbiológicas en presencia del oxígeno tienden a la oxidación del nitrógeno amoniacal a nitritos y nitratos (NO_2 , NO_3), respectivamente.

Comportamiento del oxígeno disuelto (OD)

En la Tabla 6 se nota cómo hasta la salida de la laguna de tratamiento 2 (muestra D) el oxígeno disuelto

Tabla 6. Caracterización de aguas residuales industriales. Resultado de análisis in-situ y G & A. Promociones Agropecuarias Monterrey. Octubre 28 de 1993.

Muestra No.	pH	T (°C)	s/cm	OD mg/l	q dm ³ /s l/seg	G & A mg/l
A1	4,49	45,10	6.500	0,00	5,69	4.030,00
A2	4,36	44,00	6.100	0,00	83,00	5.128,00
A3	4,65	46,10	5.900	0,00	1,21	7.808,00
A4	4,90	50,40	5.800	0,00	4,50	4.095,00
A Prom	4,60	46,40	6.075	0,00	23,60	5.265,25
B1	4,68	32,10	5.400	0,00	20,06	943,00
B2	4,75	33,00	5.300	0,00	16,69	3.220,00
B3	4,67	33,50	5.300	0,00	15,17	3.520,00
B4	4,71	34,90	5.200	0,00	12,60	2.472,00
B Prom	4,72	33,38	5.300	0,00	16,88	2.538,75
C1	6,28	32,10	5.200	0,00	1,91	-
C2	6,23	32,20	5.300	0,00	3,00	-
C3	5,76	32,20	5.400	0,00	3,93	-
C4	5,67	32,30	5.300	0,00	13,40	-
C Prom	6,03	32,20	5.300	0,00	5,56	—
D1	7,56	30,30	4.400	0,00	0,83	-
D2	7,50	34,80	4.700	0,00	1,28	-
D3	7,47	33,30	4.500	0,00	4,62	-
D4	7,40	33,20	4.700	0,00	4,19	-
D Prom	7,48	32,90	4.575	0,00	2,73	—
E1	8,17	30,80	4.000	0,40	0,29	-
E2	8,40	38,00	3.600	0,60	0,53	-
E3	8,06	38,10	4.200	0,30	2,41	-
E4	8,16	38,00	4.000	0,30	0,41	-
E Prom	8,20	36,23	3.950	0,40	0,91	—
F1	8,32	28,20	6.300	*2,8	0,24	11,00
F2	8,90	39,30	5.800	*2,6	0,28	21,00
F3	8,95	40,20	6.100	*4,3	0,26	24,00
F4	8,60	39,30	7.200	*3,3	0,63	13,00
F Prom	8,69	36,75	6.350	3,25	0,35	17,25

G&A: Aceites y Grasas

—: No determinado

*: Alta interferencia por Algas

Datos tomados de CIQA

es cero, corroborando condiciones anaeróbicas del proceso. A partir de la laguna de tratamiento 3 (muestra E) empieza a notarse OD, aumentando considerablemente a la salida del sistema (muestra F). Por una parte, la presencia de oxígeno es una indicación del buen tratamiento que han sufrido los desechos, sin embargo, para la última laguna se presenta una alta interferencia en la determinación del parámetro en cuestión por la presencia de algas, las cuales aumentan la producción de oxígeno a mayor intensidad lumínica.

Aceites y Grasas

En la Tabla 6 se nota en la muestra A, correspondiente a la salida de la planta extractora (llegada al sistema), que los aceites y grasas tienen una concentración promedio de 5.265,25 mg/l, con un valor máximo de 7.808 y un mínimo de 4.030 mg/l. Estos resultados indican que las pérdidas de aceite en los efluentes tienen valores acordes con las normas malayas, en las cuales el límite en este punto es de 8.000 mg/l de aceites y grasas. Es importante notar que a pesar que se cumple con un parámetro de eficiencia en la fábrica, se tiene montada una infraestructura en recuperación de aceite ácido, que si bien facilita los procesos de degradación, también representan una economía importante.

Comportamiento de los sólidos

En la Tabla 7, correspondiente a los sólidos en todas sus formas, se nota una disminución progresiva en todo el sistema. Del punto A (llegada a las lagunas de desaceitado) al punto B (salida de las lagunas de desaceitado), la disminución se debe principalmente a procesos físicos de separación de fases, pues según se mencionó en la Descripción del Sistema, el sedimento más pesado y los sólidos flotantes son desviados al estanque de lodos y no entran al sistema. Esta misma apreciación vale para los parámetros DBO y DQO.

Tabla 7. Residuo Sólido (mg/l). Promociones Agropecuarias Monterrey.

Muestra No.	ST	SD	SS	STV	SDV	SSV	S.Sed. ml/l
A	43.309	13.781	29.528	5.903	4.205	1.698	940,0
B	21.560	7.118	14.442	2.646	170	2.476	920,0
C	5.568	5.356	212	198	60	138	6,7
D	4.176	4.140	36	46	33	13	0,4
E	3.646	3.618	28	32	21	11	0,1
F	3.389	3.366	23	27	19	8	0,1

ST, SD, SS: Sólidos totales, Disueltos y Volátiles.

En el resto del sistema, si bien los procesos de sedimentación física son importantes, los procesos biológicos también tienen una marcada influencia. Los sólidos que entran como materia orgánica al sistema son transformados en biomasa (masa celular), la cual se acumula en el fondo. En la evaluación de lodos se discutirá este tipo de sólidos con mayor profundidad.

Evaluación del nivel de lodos

Tal como se explicó en Metodología-Evaluación Nivel de Lodos, se determinó un perfil de lodos a las lagunas de tratamiento 1, 2, 3 y 4. En la laguna 1, a causa de la gruesa capa de sólidos superficiales que presenta, no se pudo introducir la barca, por lo cual las determinaciones se hicieron desde las orillas. En la Figura 6 se presenta un esquema de los puntos donde se desarrollaron las mediciones y el nivel de la laguna y nivel de lodos según el nivel del agua. Los valores por franjas se promediaron para desarrollar la Tabla 8 y la Figura 7. En esta figura se nota cómo el lodo microbioal crece considerablemente en el sentido del flujo de las lagunas. Se podría decir que los volúmenes muertos son aproximadamente del 29% en la

laguna 1, 26% para la laguna 2, 51 % para la laguna 3 y 67% para la laguna 4. Como se ha venido diciendo, este es un lodo estable compuesto por células tanto vivas como muertas que puede utilizarse como fertilizante en la plantación, previo un análisis y balance de nutrientes.

Después de siete años de trabajo continuo de las lagunas, el lodo microbioal se ha venido asentando. Por una parte le ha quitado volumen útil a la laguna, pero por otro lado, es un lodo que se ha especializado al tratar estos desechos. De todos modos, sería conveniente la purga, la cual se programaría según el uso que se le vaya a dar.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El sistema de tratamiento de las lagunas de Monterrey funcionan adecuadamente, cumpliendo con la legislación nacional en lo que respecta a los vertimientos en términos de remoción de cargas.

Se sugiere hacer un seguimiento al estanque de lodos para ver su capacidad de almacenamiento y posibles infiltraciones a la laguna de Montecristo.

A pesar que el aceite que sale con los efluentes de la extractora está dentro de las pérdidas permisibles, se efectúa una recuperación de aceite ácido en forma considerable, ayudando al funcionamiento del sistema de tratamiento.

Sería conveniente efectuar una caracterización muy general en el sistema en los momentos picos de producción, para ver si las remociones de la primera laguna son afectadas o si por el contrario, la población bacteriana es capaz de aguantar el doble de la carga.

Con el fin de aumentar la alcalinidad en la primera laguna sería conveniente recircular el agua de las lagunas 2 ó 3, durante algunas horas en el día.

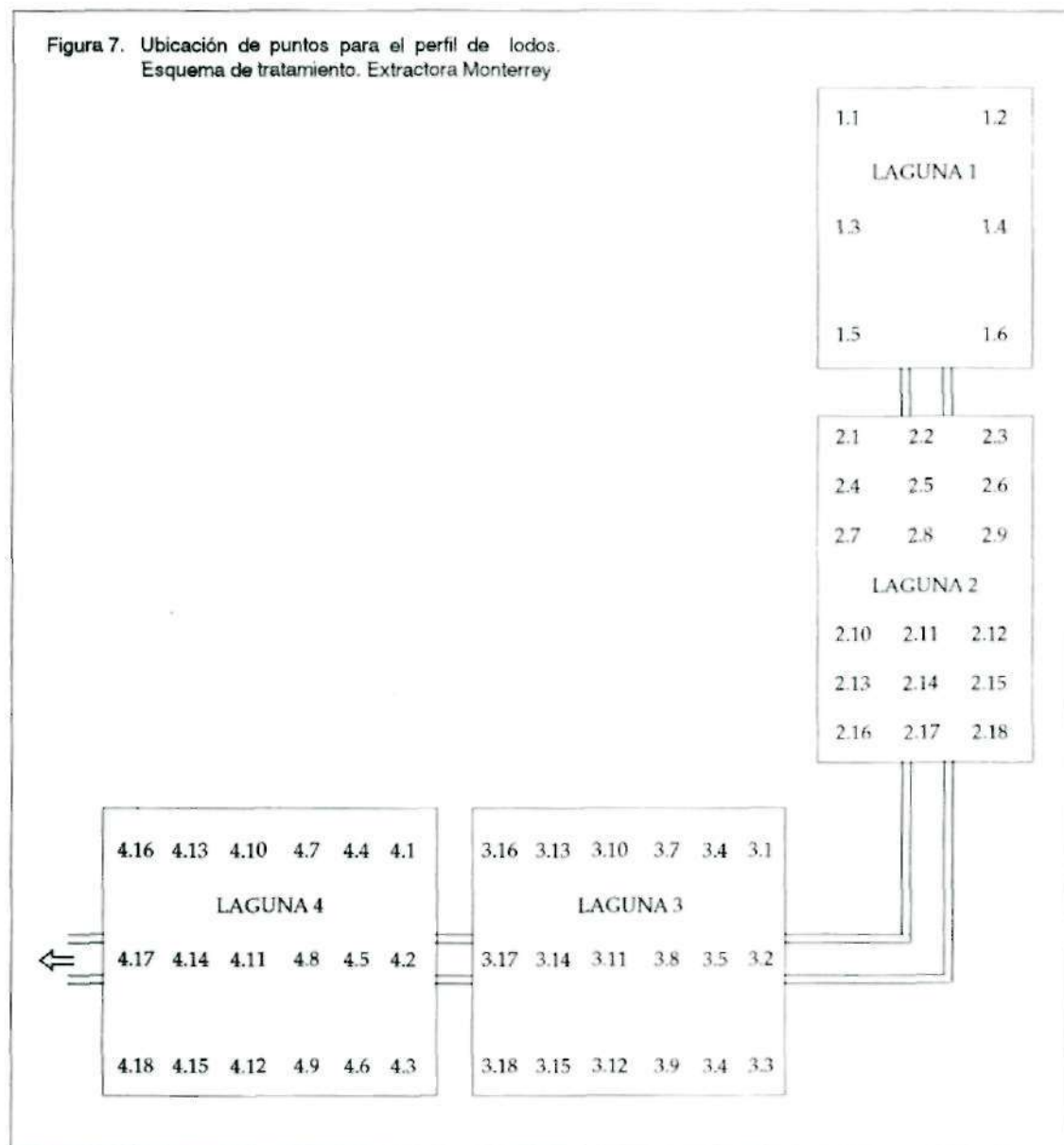
Se recomienda hacer una purga de los lodos de las lagunas 3 y 4. La forma de hacer la purga depende del uso que se le desee dar a estos lodos microbiológicos.

Los buenos resultados en la primera laguna anaeróbica o metanogénica pueden ser originarios por el acondicionamiento previo en las lagunas de desaceitado, las cuales, a nivel de proceso, estarían cumpliendo el papel de lagunas acidogénicas.

Tabla.8. Perfil de lodos lagunas de tratamiento. Promociones Agropecuarias Monterrey.

Punto de muestreo	Nivel de Agua	Cota Fondo	Cota Lodo
Laguna 1			
1.1-1.2	1,20	0,15	0,37
1.3-1.4	1,20	0,02	0,33
1.5-1.6	1,20	0,00	0,36
Laguna 2			
2.1-2.3	1,21	0,09	0,42
2.4-2.6	1,21	0,03	0,31
2.7-2.9	1,21	0,05	0,26
2.10-2.12	1,21	0,05	0,23
2.13-2.15	1,21	0,02	0,21
2.16-2.18	0,0	0,02	0,41
Laguna 3			
3.1-3.3	1,29	0,08	0,59
3.4-3.6	1,29	0,02	0,56
3.7-3.9	1,29	0,00	0,71
3.10-3.12	1,29	0,00	0,52
3.13-3.15	1,29	0,02	0,60
3.16-3.18	1,29	0,11	0,99
Laguna 4			
4.1-4.3	1,29	0,09	0,83
4.4-4.6	1,29	0,00	0,54
4.7-4.9	1,29	0,00	0,67
4.10-4.12	1,29	0,07	0,95
4.13-4.15	1,29	0,08	0,99
4.17-4.18	1,29	0,16	1,24

Figura 7. Ubicación de puntos para el perfil de lodos.
Esquema de tratamiento. Extractora Monterrey



BIBLIOGRAFIA

- GARCIA N., J.A. 1991. Estado actual del Manejo de Efluentes en Colombia. En: Conferencia Internacional en Palma de Aceite, 10a, Santa Marta, mayo 26-27, 1993. Palmas (Colombia) v.14, no. Especial, p.141-147.
- MILLAN, D. 1990. Sistema de tratamiento de aguas residuales de la cabecera municipal de Toro (Valle). Lagunas de Oxidación. Memorias de Cálculo. Sociedad de Acueductos y Alcantarillados del Valle, ACUAVALLE, Cali. Junio de 1990.
- ROJAS CH., O. 1987. Arranque y operación de columnas sembradas con lodo granular floculento. s.l.: s.n., 1987. Informe final de investigación. Universidad Agrícola de Wageningen (Holanda) - Corporación Autónoma Regional del Cauca (CVC) y Universidad del Valle.

- SHELLINKOUT, A. 1990. Características de procesos y tecnologías anaeróbicas. En: Operación y Mantenimiento de Sistemas Anaerobios para el Tratamiento de Aguas Residuales. s.l.: s.n., 1990. Seminario Latinoamericano de Operación y Mantenimiento de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. Cali, 1990. p.2-3.
- YUEH CHUEN, P.H. 1981. A Review of palm oil effluent treatment currently practised in Malaysia. En: Proceedings of three MOPGC Symposia on Treatment and Disposal of Palm Oil Mill Effluent. (Combined Proceedings of Meetings held during 3-4 October 1977, 15-16 February 1978 and 7-8 November 1978), Kuala Lumpur, Malaysia.
- ZEGERS, F. 1987. Microbiología. p.A1. En: Curso sobre arranque y operación de Sistemas de Flujo Ascendente con Manto de Lodos -UASB- (1987: Cali). Memorias del Curso. Santiago de Cali. 1ed. s.n., 1987. Curso Universidad Agrícola de Wageningen (Holanda), la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CVC) y la Universidad del Valle.

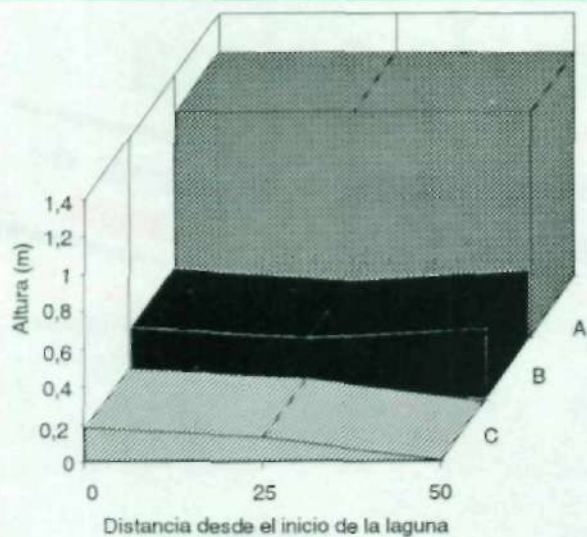


Figura 8a. Perfil de lodo Laguna 1

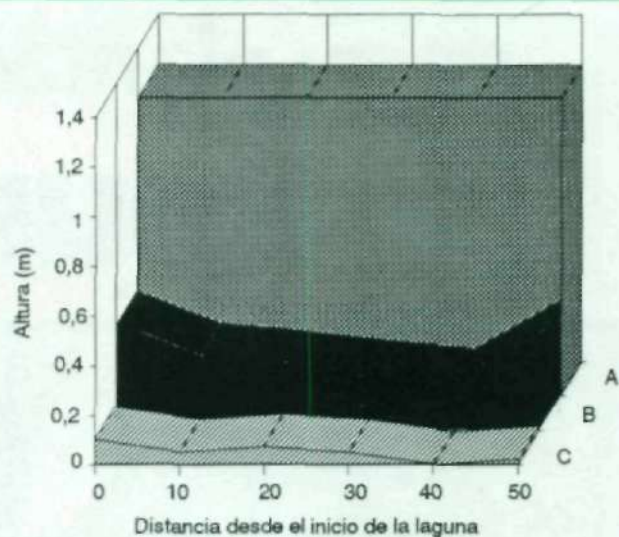


Figura 8b. Perfil de lodo Laguna 2

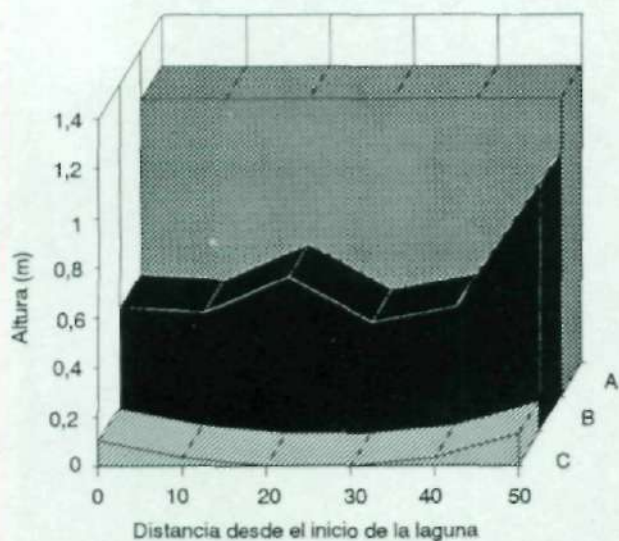


Figura 8c. Perfil de lodo Laguna 3

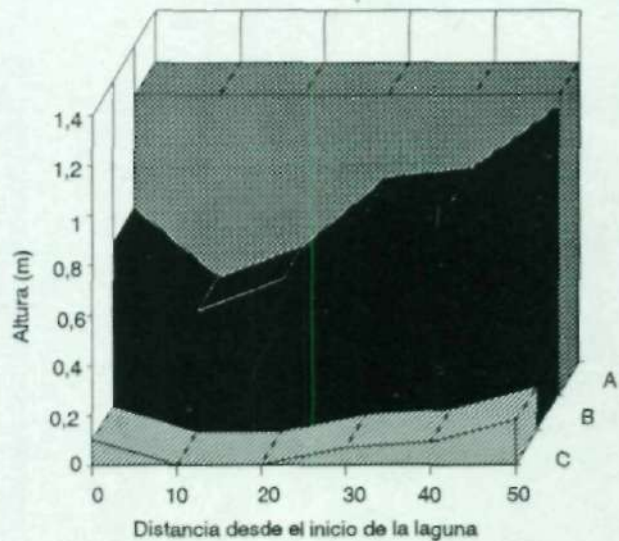


Figura 8d. Perfil de lodo Laguna 4

A: NIVEL DE AGUA

B: NIVEL DEL LODO

C: NIVEL DEL FONDO