



Manejo ambiental de efluentes y emisiones de plantas extractoras

Environmental management of palm oil mills effluents and emissions

JESUS ALBERTO GARCIA NUÑEZ
GERMAN RUBIANO MESA²

GERMAN FEDERICO BAYONA SANJUAN³

CARLOS MARIO PELAEZ DANGOND⁴

CARLOS LASSO⁵

SULMA PATRICIA ORTIZ BELLO⁶

RESUMEN

La materia orgánica medida como DBO o DQO, las grasas, los aceites y los sólidos son algunos contaminantes presentes en los efluentes de las plantas extractoras de aceite de palma. Estos contaminantes, en los cuerpos de agua, ocasionan la muerte de peces y otras especies, debido al consumo de oxígeno; además, ellos por una alta temperatura y valores de pH ácidos, desequilibran los medios acuáticos. Por esto es necesario dar un tratamiento adecuado a los efluentes. En este trabajo se presenta un resumen de las actividades desarrolladas en el Área de Plantas Extractoras de CENIPALMA, relacionadas con la cría de inóculos, arranque de lagunas y recuperación de lagunas con bacterias comerciales. También se considera la evolución en el manejo de efluentes en Colombia y algunos aspectos sobre la

SUMMARY

The organic matter measured as DBO or DQO, fats, oils and solids are some of the pollutants that are present in the effluents of the palm oil mills. These pollutants, in the water bodies cause the death of fish and other species, due to the oxygen consumption; furthermore, they create an unbalance in water environments due to high temperature and acid pH indexes. For this reason it is necessary to adequately treat the effluents. A summary of the activities developed in the Area of Mills and Management of Effluents of CENIPALMA is presented in this paper, related to the breeding of inoculants, start and recovery of ponds using commercial bacteria. Also the evolution in the management of effluents in Colombia is considered, as well as some aspects of the environmental legislation concerning atmospheric emissions, comparing the current legislation with the one being prepared by the Ministry of the Environment.

1. Ing. Sanitario. Área de Plantas Extractoras. CENIPALMA. Apartado Aéreo 252171 Santafé de Bogotá, D.C., Colombia.
2. Ing. Mecánico. Director Planta Extractora, PALMAR DE MANAVIRE, San Carlos de Guaroa (Meta)
3. Ing. Mecánico. Director de producción Planta Extractora, PALMARES DE ANDALUCIA. Aracataca (Mag.)
4. Ing. Mecánico. Director Proceso industrial, HACIENDA LAS FLORES, Codazzi (Cesar)
5. Ing. Químico. Jefe Control de Calidad. HACIENDA LAS FLORES, Codazzi (Cesar)
6. Estudiante de Biología. Pontificia Universidad Javeriana, Santafé de Bogotá, D.C.

legislación ambiental en cuanto a las emisiones atmosféricas, comparando la legislación actual con la que prepara el Ministerio del Medio Ambiente.

Palabras claves: Plantas extractoras, Efluentes contaminantes, Desechos, Residuos, Bacterias, Legislación

INTRODUCCION

La materia orgánica medida como DBO o DQO, las grasas, los aceites y los sólidos son algunos contaminantes presentes en los efluentes de las plantas extractoras de aceite de palma. La incidencia de estos contaminantes en los cuerpos de aguas no son meramente estéticos, sino que principalmente consumen oxígeno presente en el medio, lo cual ocasiona, según la capacidad de amortiguamiento de la fuente, muerte de peces y otras especies. Adicionalmente, la alta temperatura y los valores de pH ácidos de estos efluentes desequilibran un medio acuático no adaptado a valores extremos. Si a lo anterior se agrega que los ríos o lagunas traen disminuida la capacidad de recibir material orgánico, debido a las descargas ocurridas aguas arriba, se ve con mayor razón la necesidad de darle un adecuado tratamiento a dichos efluentes.

La reciente creación en Colombia del Ministerio del Medio Ambiente y los mecanismos que otorgó la Constitución de 1991 a las comunidades y gentes en general para hacer cumplir sus derechos de un ambiente sano, han presionado aún más el cumplimiento de las normatividades ambientales en los aspectos de aire, agua y residuos sólidos.

La principal forma de tratamiento para la estabilización de la materia orgánica de los efluentes de las plantas extractoras de aceite de palma, se produce por un proceso anaerobio. La siguiente es una descripción general de las principales etapas de éste proceso.

En la estabilización de la materia orgánica mediante procesos anaerobios, ocurren básicamente dos fases: La etapa de acidificación y la etapa de metanogénesis. En la primera fase o acidogénesis, la materia orgánica presente como grandes cadenas de carbonos son divididas en cadenas más pequeñas de 2 a 4 átomos de carbono, formando ácidos grasos volátiles (AGV) y ácidos acético, propiónico y butírico. Seguidamente, las bacterias metanogénicas toman los AGV y los convierten

básicamente a metano (CH_4) y dióxido de carbono (Zegers 1987; Rojas 1987). 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 causan un descenso en el pH por acumulación de AGV, las bacterias metanogénicas aumentan este valor por la conversión del CO_2 en bicarbonato que 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, se debe también controlar la temperatura y balancear los nutrientes para garantizar un crecimiento bacterial óptimo.

Para controlar el comportamiento de los sistemas anaerobios es necesario cuantificar principalmente los siguientes parámetros: Demanda Química de Oxígeno (DQO), Ácidos Grasos Volátiles (AGV), Relación de alcalinidades o Capacidad Buffer (R), potencial de Hidrógeno (pH), Temperatura (T) y Alcalinidad total y bicarbonática. 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 unidades de kg DQO o DBO/día. Al relacionar la CO con el volumen de la laguna o reactor se tiene la carga orgánica volumétrica (COV) (Ecuación 2) que determina la cantidad de materia orgánica aplicada por cada metro cúbico por día (kg DQO/ m^3 /día). La COV está relacionada con la concentración de la DQO, el caudal y el volumen de la laguna.

$$\text{CO} = \text{C.Q} \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$\text{COV} = \text{C.Q/V} \quad (\text{Ecuación 2})$$

donde:

$$\text{CO} = \text{Carga orgánica en kg DQO/día}$$

$$\text{COV} = \text{Carga orgánica volumétrica en kg DQO/m}^3\text{/día}$$

C	=	Concentración de DQO en el efluente en kg/m ³
Q	=	Caudal aplicado en m ³ /día
V	=	Volumen útil del reactor (laguna) en m ³

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

TRH	=	V/Q	(Ecuación 3)
COV	=	C/TRH	(Ecuación 4)

El sector palmero colombiano es consciente de la necesidad de tener un ambiente sano. Los trabajos que se presentan a continuación son un resumen de algunas de las actividades desarrolladas en el Área de Plantas Extractoras y Manejo de Efluentes de CENIPALMA desde 1993 hasta 1995. Estos son: cría de inóculos, arranque de lagunas y recuperación de lagunas con bacterias comerciales. Se considera también la evolución en el manejo de efluentes en Colombia y algunos aspectos de la legislación ambiental parte aire.

MANEJO AMBIENTAL DE LOS EFLUENTES

Cría de inóculos

Estos trabajos se llevaron a cabo en El Palmar de Manavire, en San Carlos de Guaroa (Meta), y con ellos se pretendía evaluar diferentes tipos de lodos microbiológicos que se pudieran adaptar a los efluentes de las extractoras para estabilizar la materia orgánica allí presente en compuestos más estables. Una vez lograda la adaptación y proliferación de los lodos, se procedió con éstos a inocular las lagunas, efectuando una metodología de arranque, la cual consiste en aumentar progresivamente la carga orgánica (CO) en la laguna acorde con los resultados de los parámetros Capacidad Buffer o Relación de alcalinidades (R), pH, AGV y Alcalinidad bicarbonática, principalmente.

Los tipos de lodos que se evaluaron fueron cuatro: estiércol de vaca, porquinaza de cerdo, lodos de pozo séptico y lodos de canal de riego en donde se vertían los efluentes de la extractora. Se tomaron inicialmente 6 canecas de 55 galones, con 50 litros de lodos recolectados, completando a un volumen total de 170

litros con agua residual de los florentinos a una concentración de DQO de 1.000 mg/l, previamente neutralizada a un pH 7,0 y balanceada con urea y fosforita como nutrientes, según la relación DQO:N:P de 350:7:1, respectivamente. Los reactores 1 y 2 contenían estiércol de vaca, los reactores 3 y 4 estiércol de vaca y porquinaza de cerdo en relación 1:1; el reactor 5 lodos de tanque séptico y el reactor 6 lodos de canal. La estabilización se inició controlando diariamente el pH, el cual no debía disminuir por debajo de 6,7; en tal caso, se neutralizaba con cal a un pH entre 7,0 y 7,5. Los AGV, en esta primera etapa, fueron disminuyendo hasta llegar a un valor por debajo de 6 meq/l. La relación de alcalinidades (R) disminuyó hasta un valor por debajo de 0,35. En este punto, se pudo decir que el lodo se había estabilizado y se empezó la adaptación al sustrato (aguas residuales). La estabilización duró 2 semanas aproximadamente. En la adaptación se adicionó, día de por medio, 20 litros de agua de florentinos diluida a una DQO de 5.000 mg/l, con pH neutro y balanceada con nutrientes. Si el pH dentro el reactor se mantenía alrededor de 7, la relación de alcalinidades por debajo de 0,35 y la

tendencia de las alcalinidades continuaban en ascenso, en la próxima alimentación se concentraba la DQO a 7.500 mg/l para aumentar la carga orgánica (CO). Este procedimiento se repitió hasta que los 20 litros adicionados fueran agua de florentinos sin diluir (DQO hasta de 100.000 mg/l), sin neutralizar (pH = 4,4) y sin adicionar nutrientes. Si las condiciones descritas anteriormente no se mantenían en algunos de los incrementos de carga orgánica, la alimentación se suspendía hasta que las condiciones se hubieran estabilizado dentro del reactor. Después de 7 meses de operación se logró una perfecta adaptación del lodo a las aguas residuales de la extractora. No se presentaron diferencias significativas en la evolución de los

diferentes lodos en los reactores, alcanzándose en todos COV de 5 kg de DQO/m³/día con una perfecta adaptación de los microorganismos, obteniéndose remociones superiores al 90% de la materia orgánica. Durante el proceso de adaptación y siembra se obtuvieron más de 30 canecas con inóculos adaptados, los cuales se usaron para el arranque de la laguna metanogénica en El Palmar de Manavire. En estudios realizados posteriormente en la Hacienda Las Flores, se adaptaron lodos de un canal circundante sin necesidad de adicionar nutrientes ni

El sector palmero colombiano es consciente de la necesidad de tener un ambiente sano.

neutralizar el pH, obteniéndose una excelente adaptación y proliferación de los inóculos. En la Tabla 1 se presenta el comportamiento del lodo en dos de los reactores iniciales después de 7 meses de adaptación.

Tabla 1. Evolución de dos reactores con lodos nativos después de siete meses de operación.

Parámetros	Reactor 1		Reactor 6	
	Mes 1	Mes 7	Mes 1	Mes 7
AGV (meq/l)	45,30	1,50	48,50	1,50
pH Afluente	7,85	4,45	8,00	4,38
pH Efluente	6,50	6,87	6,82	6,96
DQO AFL (kg/m ³)	5	100	5	100
Remoción DQO (%)	—	99,20	—	99,20
Alc.Total (mg/l)	375	1.950	650	2.300
Capac. Buffer	0,78	0,12	0,75	0,15
COV (kg DQO/m ³ -dia)	0,25	5,00	0,25	5,00

Arranque de lagunas

Antes de efectuar un arranque de lagunas se deben considerar aspectos como: Arreglos de las lagunas, Volumen de las lagunas, Carga Orgánica volumétrica (COV), detalles constructivos como la impermeabilización o buena compactación del fondo de las lagunas y los taludes y un buen diseño hidráulico para evitar zonas muertas, entre otros. Otro aspecto a tener en cuenta es el acondicionamiento de los efluentes cuando salen de la extractora; básicamente se requiere disminuir la temperatura a valores por debajo de 40 °C y alcalinizar el efluente a un pH cercano a 7 durante la primera fase del arranque.

Las investigaciones para el arranque de lagunas se realizaron en El Palmar de Manavire, Hacienda Las Flores en Codazzi (Cesar) y Palmares de Andalucía en Aracataca (Mag.). En los trabajos desarrollados en El Palmar de Manavire se agregaron nutrientes durante el arranque en forma de urea y fosforita para balancear con respecto a la DQO, el Nitrógeno y el Fósforo según la relación 350:7:1 (DQO:N:P). En los trabajos en Palmares de Andalucía y en la Hacienda Las Flores no se usaron nutrientes en los arranques, sin que esto tuviera efecto negativo en la degradación de la materia orgánica.

Para el arranque, inicialmente se llena la laguna metanogénica con agua de un canal de riego, agregando agua residual de los florentinos previamente neutralizada a pH 7,0 y balanceada, si se desea, con urea y fosforita como nutrientes, según la relación DQO:N:P de 350:7:1, respectivamente. Una vez se logre una concentración de

DQO de aproximadamente 5.000 mg/l en la laguna, para garantizar condiciones anaerobias, se agregan las canecas de inóculos adaptados. Para el caso de El Palmar de Manavire se adicionó 1 m³ de inóculo por cada 666 m³ de laguna; para el caso del arranque en las lagunas de la Hacienda Las Flores, después de la recuperación de las mismas con bacterias comerciales, se usó 1 m³ de inóculo por cada 1.250 m³ de laguna. Una vez agregado el inóculo, se empieza a incrementar la cantidad de agua residual según los resultados obtenidos en el laboratorio; si el pH se mantiene alrededor de 7, la relación de alcalinidades se encuentra por debajo de 0,35 y la tendencia de las alcalinidades es ascendente, se adiciona más agua residual de los florentinos. Si las condiciones no son estables, es decir, la relación de alcalinidades se mantienen por encima de 0,35, el pH desciende de 7 y las alcalinidades disminuyen, se suspende la alimentación. Con este procedimiento se logró que en menos de 6 meses, para el caso de El Palmar de Manavire, la laguna estuviera recibiendo toda el agua residual proveniente de la extractora, presentando remociones superiores al 90% de la materia orgánica medida como DQO. Los trabajos en lagunas pilotos desarrollados en Palmares de Andalucía se hicieron de manera similar a las descritas anteriormente. En la Figura 1 se ve el comportamiento de la DQO en el sistema de lagunas piloto en Palmares de Andalucía; la laguna 1 sale de operación la semana 23, siendo la laguna 2 la que recibe toda la carga orgánica. Se nota como se alcanzan valores en las últimas lagunas por debajo de los 1.000 mg/l de DQO. En la Figura 2 se muestra el comportamiento de las alcalinidades, las

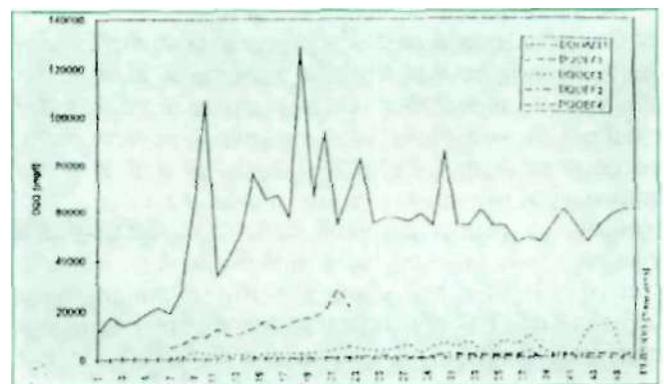


Figura 1. Demanda química de oxígeno (DQO) en las lagunas piloto de Palmares de Andalucía. Aracataca (Mag.).

- DQOAF1 = Agua a la salida de florentinos
- DQOEF1 = Efluente laguna 1
- DQOEF2 = Efluente laguna 2
- DQOEF3 = Efluente laguna 3
- DQOEF4 = Efluente laguna 4

cuales empiezan a aumentar desde menos de 1.000 mg/l a valores por encima de los 3.500 mg/l.

Después de un año de operación en las lagunas de El Palmar de Manavire, se hace énfasis en la purga de los sólidos biológicos que se forman como subproducto de la degradación. Estos deben de evacuarse con el fin de no deteriorar el desecho tratado. En El Palmar de Manavire se están usando las purgas de las lagunas diluidas con las aguas de riego.

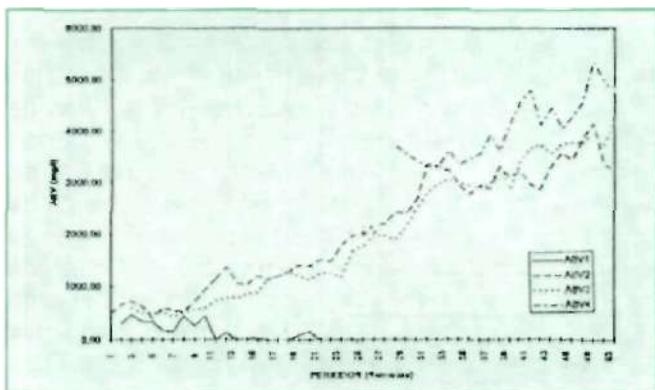


Figura 2. Alcalinidad bicarbonática (ABV) en las lagunas piloto de Palmares de Andalucía.

ABV1 = Laguna 1
 ABV2 = Laguna 2
 ABV3 = Laguna 3
 ABV4 = Laguna 4

Recuperación de lagunas con bacterias comerciales

Muchas de las plantas extractoras de aceite de palma en Colombia, con el fin de dar solución al tratamiento de sus efluentes, contruyeron "lagunas de estabilización" sin ningún criterio técnico, lo cual ocasionó que en muchos de los casos, el problema en vez de solucionarse se agravara, pues en los depósitos de aguas (y no lagunas de estabilización) se producían olores muy ofensivos, los efluentes no se trataban adecuadamente y se formaban unas capas superficiales de grasas que con el tiempo terminaban por saturar las lagunas completamente, obligando a abrir nuevos fosos para continuar arrojando los efluentes. Además, no era costumbre efectuar una adaptación de microorganismos ni un arranque en estos sistemas. Con el proyecto de recuperación de lagunas se pretendía aprovechar la infraestructura de los sistemas de tratamiento de efluentes que poseen muchas de las extractoras, para que después de una evaluación preliminar de la capacidad del sistema se decida recuperar estas lagunas y dejarlas trabajando

eficientemente.

La recuperación de lagunas se llevó a cabo usando bacterias comerciales de tipo facultativo, es decir, que son capaces de trabajar en ambientes con y sin oxígeno. Una vez se alcanzaron las características de materia orgánica medida como DQO por debajo de 10.000 mg/l y de estabilidad del sistema (pH cercano a 7 y capacidad buffer cerca de 0,35), se efectuó una siembra masiva de microorganismos nativos adaptados tal como se hizo en el arranque de lagunas descrito anteriormente. La metodología empleada para la adaptación de los microorganismos fue similar a la efectuada en El Palmar de Manavire durante la cría de inóculo.

Estos trabajos se realizaron en la Hacienda Las Flores. En la Figura 3 se muestra el sistema de tratamiento que se había implementado. Los efluentes producidos por la extractora entran a las lagunas 6 y 4, para después pasar en serie a las lagunas 5, 2, 3 y finalmente, a la laguna 1 (La asignación de los números de las lagunas corresponde a la forma como quedará finalmente el flujo en todo el sistema). El volumen útil de la laguna 1 es de 16.000 m³ y el de las lagunas 2 a la 6 es de aproximadamente 2.650 m³. Los tiempos de residencia para una producción de 320 m³/día son de 50 y 8,3 días para las lagunas 1 y 2 a 6, respectivamente.

En el momento de iniciar labores, se encontraban completamente llenas las lagunas 6, 5, 4, 3, y 2. La laguna 1 se encontraba llena en un 60% de su capacidad. Se evaluó que la laguna 1, una vez recuperada, pudiera recibir toda la Carga Orgánica trabajando con bacterias nativas, que son las que finalmente harán la conversión de la materia orgánica.

Para la recuperación de las lagunas se desviaron los efluentes a la laguna 1, de esta forma, el resto de las lagunas quedaron fuera del sistema. El trabajo se centró en recuperar las lagunas 2, 3, 4 y 5 antes que la laguna 1 se llenara completamente, para de esta forma garantizar que cuando se hiciera el primer vertimiento de aguas, estas estuvieran debidamente tratadas. En la Figura 4 se muestra el aspecto de una de las lagunas al inicio de la recuperación.

En las lagunas que se iban a recuperar se realizó un trabajo mecánico de remoción de la capa de lodos superficiales. En seguida se procedió a alcalinizar las lagunas hasta un pH de 7,0. En la práctica, para algunas lagunas el pH no se pudo subir por encima de 6,2. Paralelamente con la alcalinización, se efectuó la

LAGUNAS DE OXIDACION

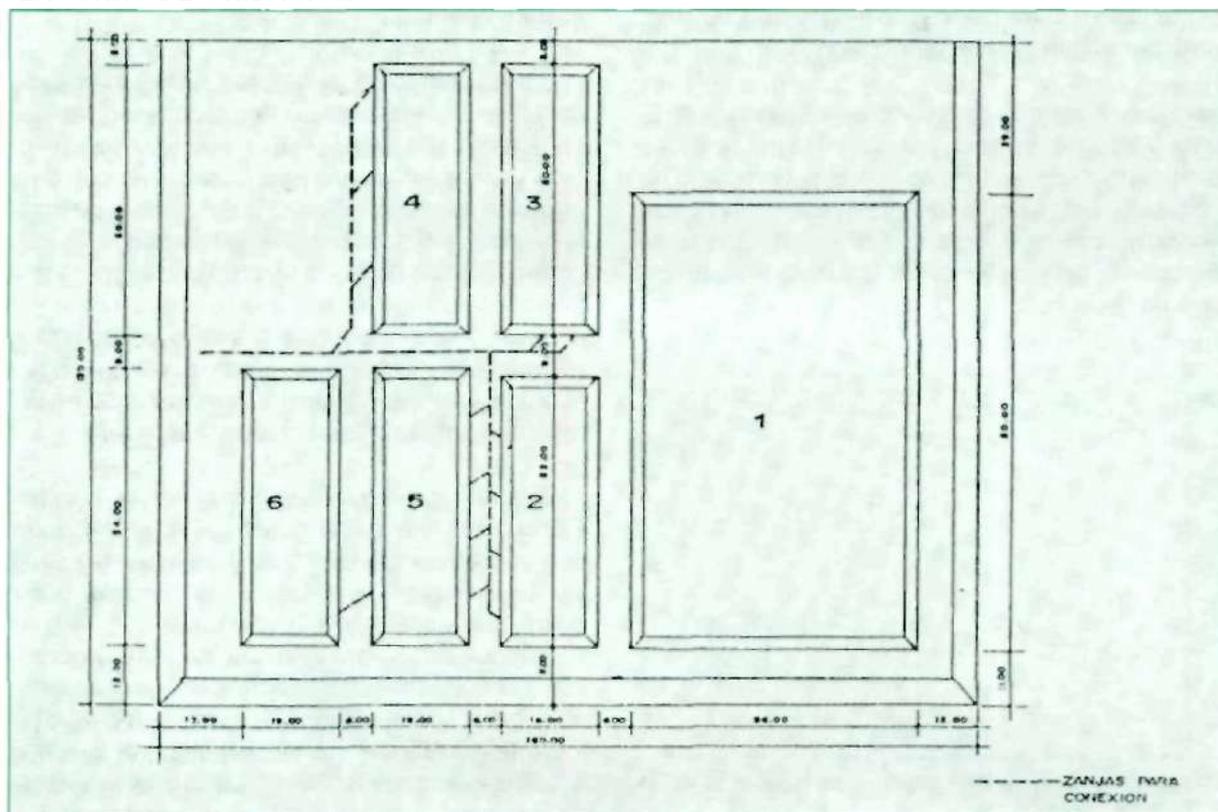


Figura 3. Sistema de tratamiento de efluentes en la Hacienda Las Flores. Codazzi (Cesar).

activación de las bacterias comerciales y la adaptación y multiplicación de las bacterias nativas.

La adaptación y multiplicación de bacterias nativas se realizó en canecas de 55 galones, usando como inóculo inicial de 30 a 40 litros de lodo de fondo de un canal donde se vertían las aguas de lavado de la extractora. Dado que la recuperación de las lagunas 2, 3, 4 y 5 debía de hacerse antes de que se llenara completamente la laguna 1, era necesario adaptar un volumen de inóculo, para lo cual se inició el cultivo con 20 canecas, obteniendo al cabo de 1 mes más de 50 canecas con inóculo completamente adaptado. El control en el laboratorio durante la adaptación y cultivo del inóculo fue similar al usado en El Palmar de Manavire, controlando básicamente: pH, Capacidad buffer y alcalinidad total y bicarbonática. En ningún momento durante este proceso se adicionaron nutrientes.

Una vez se alcanzó el pH por encima de 6, en las lagunas, se empezaron a adicionar las bacterias comerciales. Estos microorganismos son un conjunto de bacterias facultativas, las cuales pueden vivir en ambientes con o sin oxígeno y sin éste. Se activan

inyectando aire a una solución de estos microorganismos con un líquido activador y agua.

Con la adición de las bacterias comerciales se empezó a controlar en las lagunas la Demanda Química de Oxígeno (DQO), la cual disminuyó desde 50.000 mg/l hasta menos de 10.000 mg/l después de un mes de la primera aplicación de las bacterias comerciales. La capacidad buffer o relación de alcalinidades descendió de aproximadamente 0,6 a menos de 0,35 y la alcalinidad en su forma bicarbonática principalmente ascendió desde 1.150 hasta 1.750 mg/l. En este punto se adicionaron los inóculos de las bacterias nativas en proporción de 1 m³ de inóculos por cada 1.250 m³ de laguna, empezando un arranque de la misma forma que se explicó anteriormente, con la diferencia de que el agua residual de la planta extractora que se introducía no se neutralizaba ni se le adicionaban nutrientes. En la Figura 5 se muestra una laguna completamente recuperada.

La recuperación de las lagunas 2, 3, 4 y 5 fue muy satisfactoria, llegando a resistir toda la producción de efluentes de la planta extractora y de la refinera, con cargas orgánicas por encima de 5 kg de DQO/m³/día. Un

aspecto de vital importancia es que no se presentó depredación ni incompatibilidad entre las bacterias nativas y las comerciales. En el momento de la presentación de este artículo, el sistema sigue trabajando con remociones de DQO superiores al 95%, sin agregar más bacterias nativas ni comerciales. La laguna 6 se recuperó posteriormente y la laguna 1 se encuentra en recuperación.

Evolución en el manejo de efluentes en Colombia

En la Figura 6 se aprecia la evolución en el manejo de efluentes en Colombia. Se aprecia como en 1992 menos



Figura 4. Laguna de tratamiento por recuperar. Hacienda de Las Flores, Codazzi (Cesar).

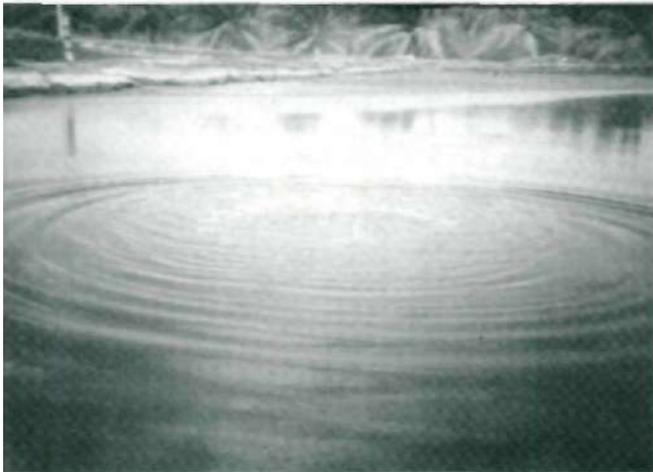


Figura 5. Laguna recuperada. Hacienda Las Flores, Codazzi (Cesar).

de 5 extractoras manejaban bien sus efluentes (García 1993) comparados con las 15 en 1995. Actualmente se está ejecutando el diseño o la construcción del sistema de tratamiento para más de 10 extractoras, por lo cual se espera que en poco tiempo el problema de la contaminación de los efluentes haya quedado solucionado definitivamente.

EMISIONES ATMOSFERICAS

El control de las emisiones atmosféricas ha sido un tema prioritario que se ha fijado el recientemente creado Ministerio del Ambiente, el cual, en pocos días, expedirá un decreto que modifica en parte la legislación vigente al respecto. Por ser este un tema de particular interés para el sector palmero, se presenta a continuación una descripción general de las normas vigentes y de algunas modificaciones propuestas en los borradores del nuevo decreto.

Valores actuales y legislación vigente

El Decreto 02 de 1982 del Ministerio de Salud es el que controla actualmente en Colombia la emisión de contaminantes al aire. En este decreto se contempla la figura urbana y rural, en el cual, en el primer caso, la norma es mucho más estricta que para la zona rural, pues se considera que en el campo la dispersión de los contaminantes es mayor. No se consideran emisiones en calderas que usan como combustibles fibras vegetales sino que se compara la norma de emisión según las kcal producidas por hora. Según estas consideraciones, en la Tabla 3 se muestran las emisiones de partículas y las emisiones permitidas para cinco extractoras de aceite de palma. Se nota cómo la extractora 5 no cumple con la



Figura 6. Evolución en los sistemas de tratamiento de efluentes en Colombia 1992-1995.

norma de emisión en ninguna de sus chimeneas, y en las otras, las emisiones de partículas se encuentran por debajo del valor permitido.

Futuras legislaciones

Con base en los borradores de un decreto del Ministerio del Medio Ambiente, que se encuentran en estudio, se presenta en la Tabla 4 la propuesta de emisión de partículas para calderas y hornos a base de bagazo de caña y fibras vegetales. Esta sería la norma a la cual se tendrían que acoger las chimeneas de las extractoras de aceite de palma. Se nota que se han incorporado valores restrictivos para SO₂ y NO₂ que la legislación antigua no contemplaba. En la Tabla 5 se presentan las mismas cinco extractoras comparadas con la norma vigente y con la norma propuesta. Se nota como ninguna de las chimeneas de las extractoras cumplirían con estos requerimientos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al personal directivo y técnico de las plantaciones El Palmar de Manavire, Hacienda Las Flores y Palmares de Andalucía por la colaboración prestada en el ejecución de estos proyectos.

Tabla 3. Emisión de partículas por chimeneas de extractoras de aceite de palma. Comparación con la norma vigente

Extractor	Altura Ducto m	Calor Liberado 10 ⁶ Kcal/h	Emisión Total Kg 10 ⁶ kcal/h	Emisión de partículas permitida 10 ⁶ kcal/h
1	19	5,44	1,19	2,96
	20	5,44	2,48	
2	24	5,12	2,50	2,96
	24	5,12	2,73	
	19	5,12	2,64	
3	16	4,80	1,77	2,96
	16	4,80	1,56	
4	15	5,44	1,84	2,68
	16	5,44	2,04	
5	24	<10,00	4,43	3,00
	24	<10,00	4,26	

BIBLIOGRAFIA

- GARCÍA N., J.A. 1993 Estado actual del manejo de efluentes en Colombia. Palmas (Colombia) v.14 Número Especial, p.141-147.
- ROJAS CH., O. 1987. Arranque y operación de columnas sembradas con iodo 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. p. 2-3. En: Operación y Mantenimiento de Sistemas Anaerobios para el Tratamiento de Aguas Residuales, s.l. s.n., 1990?. Documento expuesto en el Seminario Latinoamericano de Operación y Mantenimiento de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. Cali, 1990
- ZEGERS, F. 1987. Microbiología, p. A1. En Curso sobre arranque y operacion 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 Valle (CVC) y la Universidad del Valle.

Tabla 4. Propuesta de normas de emisión para calderas y hornos a base de bagazo de caña y fibras vegetales.

Consumo de calor 10 ⁶ Kcal/h	Partículas kg 10 ⁶ kcal	SO ₂ kg 10 ⁶ kcal/h	NO ₂ kg kg/h
1 o menos	1,82	0,34	1,65
2	1,74	0,33	1,62
5	1,65	0,32	1,60
10	1,56	0,30	1,57
20	1,47	0,29	1,55
50	1,38	0,27	1,53

Tabla 5. Emisión de partículas por chimeneas de extractoras de aceite de palma. Comparación con la norma propuesta

Extrac-tora	Emisión Total Kg 10 ⁶ kcal/h	Norma emisión de partículas kg10 ⁶ kcal/h	
		Actual	Propuesta
1	1,19	2,96	1,60
	2,48	2,96	1,60
2	2,50	2,96	1,60
	2,73	2,96	1,60
	2,64	2,96	1,60
3	1,77	2,96	1,60
	1,56	2,96	1,60
4	1,84	2,68	1,60
	2,04	2,68	1,60
5	4,43	3,00	1,60
	4,26	3,00	1,60