

# Evaluación económica de sistemas de tratamiento de efluentes para una planta extractora de aceite de palma

Economical evaluation of effluent treatment systems of an oil palm mill

Carlos Brugés Nivia <sup>1</sup>; Jesús Alberto García Núñez <sup>2</sup>; Javier Dueñas <sup>3</sup>; Gildardo Zagala <sup>4</sup>; Martha Ligia Guevara <sup>5</sup>

## RESUMEN

El manejo de los efluentes provenientes de las plantas de beneficio de aceite de palma, día a día toma mayor importancia, buscando siempre una mayor utilización de éstos residuos sobre la misma plantación, consiguiendo así un círculo de operación en donde los subproductos desechados hacia el ambiente sean cada vez menos. Por esta razón, Cenipalma propuso la realización de este proyecto y gracias a la experiencia acumulada que en el tema tiene extracción Palmar Santa Elena, en Tumaco, Nariño, se emprendió una investigación que permitiera evaluar las ventajas y desventajas químicas, físicas y económicas que ofrecen los biodigestores, comparado con las lagunas de estabilización convencionales y con un tercer sistema que inició a comienzos de año 1999 la plantación Palmeiras, en Tumaco, Nariño, el cual consistió en carpar una de sus lagunas anaerobias. Con este trabajo se pretende presentar al sector palmero colombiano una información actualizada y detallada que le permita orientar la toma de decisiones para invertir en sistemas alternativos de tratamiento de efluentes. Los resultados obtenidos demuestran que los tres sistemas son económicamente viables. A diferencia de las lagunas de estabilización, las lagunas carpadas y los biodigestores permiten canalizar el biogás producido en el proceso de descomposición de la materia orgánica, dando así la posibilidad de inyectarlo a las plantas eléctricas para generar energía y disminuir el consumo de combustible. Los efluentes del proceso (líquidos o sólidos) poseen características nutricionales, que los hace atractivos para utilizarlos sobre la plantación como abono orgánico. Mediciones iniciales demuestran que se pueden llegar a registrar mayores niveles de producción en los cultivos en comparación con los fertilizantes químicos tradicionales.

## SUMMARY

The objective of this work is to do a chemical, physical, and economical comparison between systems used for the treatment of mill effluents, such as oxidation lagoons (conventional and covered) and bio-digestors. This with the objective of presenting to the palm sector an updated and detailed information to orient it in decision taking to invest in alternative effluent treatment systems. The compilation of the information was done during six (6) months in the palm oil mills. Palmar Santa Elena and Palmeiras, located in Tumaco in the western region of Colombia. The obtained results showed that the three systems are economically suitable. The covered lagoons and the bio-digestors do allow to canalize the biological gas produced in the stabilization process of the organic matter, injecting it into the electric plants to generate energy and diminish fuel consumption. The oxida-

1 Ing. Producción Agroindustrial. Universidad de la Sabana, carlosbruges@latinmail.com

2 Ing. Sanitario. Área Procesos y Usos. Cenipalma Apartado Aéreo 252171. Bogotá, Colombia.

3 Ing. Mecánico. Director Planta Extractora Palmar Santa Elena, Tumaco, Colombia.

4 Ing. Eléctrico. Superintendente Plantación Palmeiras S.A. Tumaco, Colombia.

5 Economista M.Sc. Asistente Dirección Ejecutiva. Cenipalma Apartado Aéreo 252171. Bogotá, Colombia.

tion lagoons do not allow this. The effluents of the process (liquids or solids) have nutritional characteristics. This characteristics make them appealing to be used as organic fertilizer. Initial measurements show that higher production rates can be registered in the crops in comparison with traditional chemical fertilizers.

Palabras claves: Plantas extractoras. Aceite de palma. Aguas residuales, Tratamiento de aguas residuales, Biodigestores, Biogás, Bioabono, Lodos, Combustibles, Energía.

## INTRODUCCIÓN

El manejo de los efluentes provenientes de las plantas extractoras de aceite de palma se originó en Malasia en la década de 1970, cuando la preocupación ambiental coincidió con el aumento del número de plantas extractoras en ese país. La cantidad de efluentes que fluían a los ríos estaba aumentando, lo cual conducía al agotamiento del oxígeno y por consiguiente destruía los sistemas vivos. Inicialmente, estos efluentes se consideraban como un problema que debía desecharse o evadirse, pero los estudios emprendidos desde entonces han demostrado que constituyen un recurso aprovechable para la plantación (Wood y Lim 1989).

La contaminación causada por estos efluentes se mide en términos de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), es decir, la cantidad de oxígeno requerido para que la actividad bacteriana pueda oxidar toda la materia orgánica contenida en el efluente. La DBO se expresa a menudo como demanda química de oxígeno (DQO), la cual se puede medir con mayor facilidad y generalmente está presente en las mismas proporciones.

La DBO de los efluentes del aceite de palma puede llegar fácilmente a 20.000 mg/l y es un hecho aceptado que una planta que procesa 20 toneladas de RFF/hora puede contaminar a una ciudad de 200.000 habitantes.

Existen varias formas de tratar estos efluentes. En términos generales los procesos físicos, tales como: la sedimentación, la filtración, el secado, la floculación, la centrifugación, por sí solos o combinados, demostraron ser costosos e inefectivos con el tiempo, debido al estado de

dispersión y emulsificación parcial de los sólidos en suspensión por el efluente.

Otros sistemas incluyen la fermentación anaerobia en lagunas profundas, el tratamiento aerobio en lagunas poco profundas o por inyección de aire, o una combinación de los dos tipos de tratamientos. Estos sistemas resultan poco costosos, pero requieren de mucho espacio. Sin embargo, la investigación acerca de la digestión anaerobia para la producción de biogás ha avanzado tanto, que ha dado lugar al diseño de sistemas de volúmenes más reducidos, con tiempos de retención más cortos, comúnmente llamados "Biodigestores" (Petitpierre 1983).

Los biodigestores son unidades de fermentación biológica que procesan los efluentes en un medio anaerobio y neutro. Uno de los productos de la degradación orgánica es el biogás, un gas compuesto por un 60-70% de metano, 30-40% de dióxido de carbono y alrededor de 2.000 ppm de ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ). Por su alto poder calorífico ( $5.500 \text{ Kcal} / \text{m}^3$ ) es utilizado como combustible, teniendo entre una de sus aplicaciones la generación de energía, y se estima que 1 galón de ACPM equivale aproximadamente a  $6\text{m}^3$  de biogás. Para su incorporación a las plantas eléctricas es necesario reducir el contenido de  $H_2S$ .

El otro producto de la degradación lo constituye el efluente líquido tratado. Muchos investigadores han demostrado que la aplicación controlada de estos efluentes aumenta la productividad del cultivo y mejora las propiedades de los suelos, gracias a la humedad y al contenido de nutrientes que estos proporcionan.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Descripción del sistema de tratamiento de efluentes

Palmar Santa Elena cuenta, desde 1992, con dos unidades de biodigestores de 250 m<sup>3</sup>/u, para el tratamiento de los efluentes producidos por su planta extractora (Fig. 1). El biogás producto de la degradación anaerobia, correspondiente a 7,4 m<sup>3</sup> por cada tonelada de racimo de fruta fresca (RFF) procesada, es inyectado a las plantas eléctricas en combinación con ACPM, operando un sistema DUAL-FUEI, que logra disminuir en un 30% los requerimientos normales de combustible que tendría la planta. Cada m<sup>3</sup> de biogás genera 3,12 Kw. Para evitar problemas de corrosión en los elementos de cobre de la planta eléctrica, Palmar Santa Elena cuenta con dos filtros químicos que se encargan de lograr una remoción del 60% de ácido sulfhídrico presente en el biogás.

Los efluentes líquidos tratados, correspondientes al 85-95% del total del efluente que entra al sistema de tratamiento, son utilizados como abono orgánico, distribuyéndolo sobre la plantación por medio de un sistema de riego de microaspersión o "Ferirrigación".



Figura 1. Biodigestores utilizados para el tratamiento de efluentes en la planta extractora de aceite de palma Palmar Santa Elena, Tumaco, Colombia.

Según mediciones realizadas, se determinó que es necesario purgar aproximadamente el 10% del total del efluente que ingresa al sistema de tratamiento. Estos lodos del fondo son dispuestos en lechos de secado para disminuir su contenido de humedad y conseguir sólidos manejables (torta seca), y al finalizar el proceso de secado se obtienen 19 kilogramos de torta seca por cada tonelada de RFF.

La plantación Palmeiras decidió aprovechar la capacidad calorífica que posee el biogás e inyectándolo a sus plantas eléctricas para economizar así el consumo normal de combustible. El sistema implementado por esta plantación consistió en carpar una laguna anaerobia de 2.000 m<sup>2</sup> (Fig. 2). Para desulfurar el biogás, Palmeiras optó por la utilización de un filtro biológico que logra una reducción del 85% en el contenido de ácido sulfhídrico. Se concluyó que la inyección de aire en las carpas de almacenamiento del biogás es vital para lograr una mejor remoción del ácido sulfhídrico ( a diferencia de Santa Elena que inyectaba aire por baches a las carpas de almacenamiento de biogás logrando una concentración de 1350 ppm de ácido sulfhídrico, Palmeiras inyecta constantemente aire a las carpas, consiguiendo así una concentración de 450 ppm de H<sub>2</sub>S a la salida del sistema).

### Caracterización química

Las lagunas de oxidación son sistemas más flexibles y, si su diseño lo permite, pueden llegar a tratar una mayor cantidad de efluentes sin llegar a sufrir acidificaciones, en cambio los biodigestores sólo pueden tratar un determinado caudal y requieren de un mayor control. Es necesario medir dos veces por semana los ácidos grasos volátiles, la alcalinidad y la capacidad "buffer" del sistema para asegurar así el buen funcionamiento de la fermentación y evitar el riesgo de acidificación.



Figura 2. Laguna anaerobia carpada utilizada en la plantación Palmeiras para el tratamiento de los efluentes. Tumaco, Colombia.

Varias pruebas realizadas en los efluentes de las lagunas anaerobias y en los biodigestores, midiendo parámetros como: pH, temperatura, capacidad "buffer", sólidos totales y DQO, demostraron que con un permanente control es posible minimizar los riesgos de acidificación del sistema. (Tabla 1).

Estadísticamente no se encontraron diferencias significativas entre los sistemas analizados. Es importante hacer notar que los datos de DQO consignados en el Tabla 1, hacen referencia únicamente a las lagunas anaerobias y no a una remoción total, como es el caso de los biodigestores. La remoción de DQO en las lagunas de estabilización, en ambas plantaciones, se encuentra alrededor del 90%.

Tabla 1. Caracterización química de los efluentes en sistemas anaerobios.

| Prueba              | Laguna Anaerobia | Laguna Carpada | Biodigestor |
|---------------------|------------------|----------------|-------------|
| pH                  | 7,19             | 7,71           | 7,43        |
| Temperatura (°C)    | 30,96            | 30,42          | 31,42       |
| Capacidad "Buffer"  | 0,16             | 0,11           | 0,20        |
| Sólidos Totales (%) | 1,44             | 0,90           | 0,50        |
| DQO removida (%)    | 77               | 79             | 94          |

## Comparación de los lodos de fondo de biodigestores y lagunas

Con el fin de encontrar diferencias en las propiedades físicas que poseen los lodos de fondo de los biodigestores y las lagunas, se evaluaron los tiempos de secado y se realizaron perfiles de sólidos.

El contenido de humedad inicial de los lodos de fondo (95%), hace que su utilización sea difícil, y por esta razón se disponen en lechos de secado para reducir el contenido de humedad. En la Figura 3 se pueden

observar las curvas de secado para las purgas realizadas en biodigestores y lagunas. Se observa que partiendo de un contenido de humedad similar, la purga del biodigestor alcanza un 78 % de humedad expresada en base seca ( Hbs) en 7 días, a diferencia de la purga de la laguna que alcanza el 78% a los 13 días. Con una humedad aproximada del 78%, se tienen lodos manejables que pueden ser empacados en costales y distribuidos manualmente sobre la plantación.

Los perfiles de sólidos realizados en laguna y biodigestores, muestran una mayor acumulación de lodos en los biodigestores (Fig. 4 y 5).

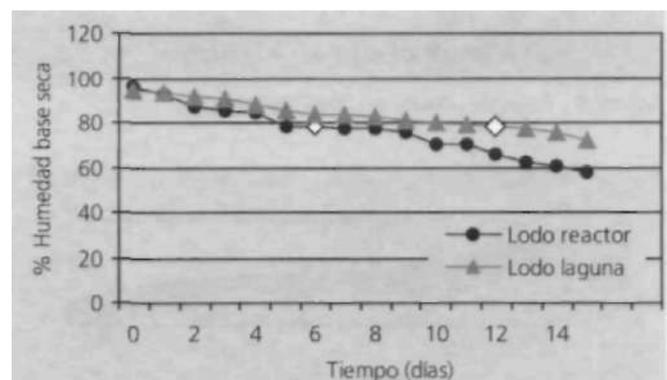


Figura 3. Curvas de secado para lodos de fondo del biodigestor y de lagunas.

Esta diferencia en el tiempo de secado y en los perfiles de sólidos se explica por la característica granular que poseen los sólidos de los biodigestores, creando menores resistencias a la evaporación y filtración del agua por los lechos y mayores velocidades de sedimentación.

## EVALUACIÓN ECONÓMICA

Para determinar los indicadores de rentabilidad asociados con cada uno de los sistemas de tratamiento de efluentes (lagunas de estabilización, laguna carpada y biodigestores), se identificó cada uno de los elementos necesarios para conformar los flujos de caja referidos a inversiones, costos e ingresos.

### Inversiones

En la Tabla 2 se puede observar un resumen de las inversiones (cifras en pesos del año 1999) realizadas para la construcción de cada uno de los sistemas de tratamiento de efluentes. Estos valores incluyen los costos de administración, ingeniería y utilidad del constructor.

En estas inversiones se incluyen los accesorios necesarios para la utilización del biogás en las plantas eléctricas tales como filtros y conexiones. El costo de la implementación del sistema de

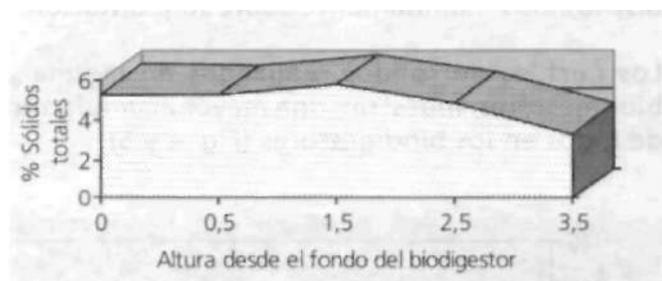


Figura 4. Perfil de sólidos en biodigestores.

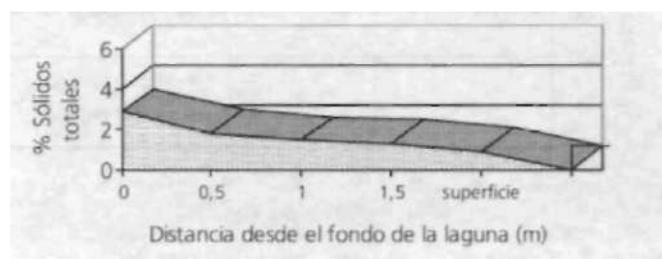


Figura 5. Perfil de sólidos laguna facultativa.

Tabla 2. Resumen de las inversiones en sistemas de tratamiento de efluentes.

| Sistema              | Especificaciones                         | Valor (\$)  |
|----------------------|--|-------------|
| Lagunas de oxidación | Sistema para planta de 200 t/día         | 80.000.000  |
| Laguna carpada       | Laguna anaerobia de 2.000 m <sup>2</sup> | 130.000.000 |
| Biodigestores        | Dos unidades de 250 m <sup>3</sup> c/u   | 180.000.000 |

fertirrigación es aproximadamente \$1.500.000 por hectárea (cifras en pesos del año 1999).

### Costos

Los costos se refieren básicamente al personal necesario para la supervisión y mantenimiento de los sistemas de tratamiento de efluentes y de las plantas eléctricas. Los biodigestores, al ser sistemas más susceptibles a la acidificación, requieren de un mayor control; además, el sistema de fertirrigación requiere un manejo especial que hace que los costos integrados al sistema de biodigestores sean más altos (Tabla 3).

Tabla 3. Descripción global de los costos de mantenimiento.

| Sistema              | Valor (\$/año) |
|----------------------|----------------|
| Lagunas de oxidación | 15.000.000     |
| Laguna carpada       | 17.000.000     |
| Biodigestores        | 32.000.000     |

### Ingresos

Valorización del biogás. Palmar Santa Elena y Palmeiras utilizan el biogás canalizado en sus carpas, para incorporarlo en las plantas eléctricas y así reducir los gastos en ACPM. La información obtenida de los ahorros en combustible en ambas plantaciones, demuestra beneficios prometedores para un producto que generalmente es desechado (Tabla 4).

Tabla 4. Ahorros y valorización del biogás.

| Plantación  | Galones ACPM/mes Consumidos | % Ahorro | Ingresos Anuales (\$) |
|-------------|-----------------------------|----------|-----------------------|
| Santa Elena | 3.780                       | 30       | 23.000.000            |
| Palmeiras   | 6.480                       | 45       | 59.000.000            |

Los ahorros más altos logrados por la plantación Palmeiras se deben a que su capacidad de canalizar el biogás es mayor que la de Palmar Santa Elena.

**Tasa retributiva.** Este segundo ingreso se refiere a la reducción realizada en el monto a pagar por tasa retributiva, gracias a los sistemas de tratamiento de efluentes (Tabla 5).

Tabla 5. Monto a pagar por tasa retributiva sin sistema de tratamiento de efluentes.

| Caudal<br>(m <sup>3</sup> /año) | Concentración               |                             | Tasa retributiva (\$/año) |            |
|---------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|------------|
|                                 | DBO<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | SST<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Por DBO                   | Por SST    |
| 65.000                          | 35                          | 25                          | 105.787.500               | 32.337.500 |

DBO : Demanda biológica de oxígeno

SST : Sólidos suspendidos totales

Los sistemas de tratamiento de efluentes, ya sean lagunas de oxidación o biodigestores, reducen la carga contaminante (medida como DBO y SST) en un 90 a 95% aproximadamente, dando ingresos anuales alrededor de \$100.000.000 por concepto de la tasa retributiva.

**Fertilización orgánica.** Varios investigadores han comprobado que los efluentes (sólidos o líquidos) tienen un contenido de nutrientes que los hace eficientes como fertilizante orgánico.

En busca de corroborar esos datos teóricos, se tomaron muestras representativas de los efluentes líquidos de las lagunas y biodigestores y de la torta seca procedente de los lechos de secado, y se mandaron a analizar al Laboratorio Análisis Ambiental en Cali (Tabla 6).

Para darle un valor económico a este fertilizante, se calculó la equivalencia con el correspondiente fertilizante químico (Tabla 7).

Uno de los costos más altos de los cultivos de palma de aceite es la fertilización; con estos resultados se logra demostrar que los efluentes (líquidos y sólidos) en vez de ser desechados constituyen un recurso, que por su contenido de nutrientes pueden llegar a ser utilizados como

fertilizantes orgánicos, aprovechando las fortalezas presentadas en los elementos *potasio*, magnesio y calcio.

**Aumento en producción de fruto.** Palmar Santa Elena cuenta con un sistema de riego para fertilizar cerca de 21 hectáreas con efluente líquido (bioabono). El sistema de riego esta provisto de 19 válvulas, cada válvula tiene 50 microaspersores y cada uno de éstos fertiliza tres palmas, teniendo un total de 150 palmas por cada válvula.

Hasta el año 1997, Corpoica realizó un estudio para determinar la efectividad del bioabono como fertilizante, y para llevar a cabo este proyecto se analizaron tres tratamientos: fertilización química, fertilización orgánica (bioabono) y fertilización química más orgánica. Durante el tiempo de estudio se aplicaron las dosis establecidas de cada fertilizante, pero no se llevaron registros de producción. Esta actividad se ejecutó durante cinco ciclos de cosecha en Palmar Santa Elena.

Tabla 6. Contenido de nutrientes de los efluentes.\*

| Análisis              | Efluente laguna<br>de oxidación<br>(mg/l) | Efluente<br>biodigestores<br>(mg/l) | Torta seca<br>(mg/kg) |
|-----------------------|---|-------------------------------------|-----------------------|
| Conductividad (uS/cm) | 2.705,20                                  | 2.805,70                            |                       |
| Nitrógeno (Kjeldahl)  | 38,69                                     | 27,56                               | 1.926,60              |
| Fósforo               | 27,11                                     | 50,00                               | 0,14                  |
| Calcio                | 3848,90                                   | 3.848,92                            | 93.236,00             |
| Sodio                 | 9,58                                      | 13,96                               | 57,93                 |
| Magnesio              | 2.280,50                                  | 2.285,00                            | 22.444,00             |
| Potasio               | 1.380,30                                  | 1.638,29                            | 7.675,00              |

Muestras analizadas por el Laboratorio de Análisis Ambiental (Cali).

Tabla 7. Relaciones entre fertilizante orgánico y químico.

| Fertilizante Químico<br>(1 kg) | Efluente lagunas<br>de oxidación (m <sup>3</sup> ) | Efluente<br>biodigestor (m <sup>3</sup> ) | Torta Seca<br>(kg) |
|--------------------------------|--|---|--------------------|
| Urea                           | 12   | 17  | 244                |
| Superfosfato triple            | 7  | 4   | 145                |
| Cloruro de potasio             | 0,38   | 0,32                                      | 68                 |
| Sulfato de magnesio            | 0,087  | 0,087                                     | 9                  |
| Carbonato de calcio            | 0,103  | 0,103                                     | 4,25               |

Los datos obtenidos durante los cinco ciclos se analizaron estadísticamente: no se encontraron diferencias significativas entre fertilización orgánica y bioabono más fertilizante químico, lo que significa que tiene el mismo efecto utilizar cualquiera de los dos tratamientos, pero se encontraron diferencias altamente significativas con respecto a la fertilización química, resultado que demuestra que la fertilización orgánica tiene un efecto positivo sobre el rendimiento en producción (Tabla 8).

Tabla 8. Resultados acumulados en cinco ciclos de cosecha del estudio de producción de fruto.

| Tratamiento                       | Lote | No. Racimos | Peso medio | t/ha/año | Promedio t/ha/año |
|-----------------------------------|------|-------------|------------|----------|-------------------|
| Bioabono                          | 2    | 41          | 19         | 33       | 34                |
|                                   | 3    | 68          | 16         | 47       |                   |
|                                   | 7    | 60          | 17         | 44       |                   |
|                                   | 8    | 42          | 19         | 35       |                   |
|                                   | 12   | 33          | 14         | 20       |                   |
| Bioabono Mas Fertilizante Químico | 13   | 34          | 16         | 24       | 38                |
|                                   | 2    | 42          | 18         | 32       |                   |
|                                   | 3    | 48          | 18         | 37       |                   |
|                                   | 7    | 53          | 20         | 44       |                   |
|                                   | 8    | 50          | 20         | 43       |                   |
| Fertilizante Químico              | 12   | 46          | 17         | 34       | 21                |
|                                   | 13   | 48          | 17         | 35       |                   |
|                                   | Q1   | 29          | 12         | 15       |                   |
|                                   | Q2   | 38          | 11         | 19       |                   |
|                                   | Q3   | 44          | 15         | 29       |                   |
| Fertilizante Químico              | Q4   | 47          | 11         | 23       |                   |

Los resultados obtenidos de toneladas de fruto por hectárea, aunque son altos (debido a que son extrapolaciones realizadas con solo cinco ciclos de cosecha), si evidencian un aumento de producción de fruto en palmas fertilizadas con abono orgánico frente aquellas que reciben un tratamiento con fertilizante químico.

## Indicadores de rentabilidad

Al tener especificado inversiones, costos y cada uno de los ingresos, se procedió a la conformación de los flujos de caja de cada sistema para obtener los indicadores de rentabilidad respectivos (Tabla 9).

Los indicadores reflejan que los sistemas son económicamente viables y que la inversión se recupera en un lapso adecuado de tiempo. El sistema que obtiene los mejores beneficios económicamente es el de las lagunas de estabilización, seguido por las lagunas carpadas y por último los biodigestores, esto se debe principalmente a las mayores inversiones que se incurren en los dos últimos sistemas.

Sin embargo, los indicadores no demuestran diferencias notorias que permitan descartar un sistema. Todos se encuentran dentro de los rangos económicos óptimos:

- El valor presente neto (VPN) en todos los casos es positivo y superior a la inversión.
- La tasa interna de retorno (TIR), entendida como el indicador que refleja la eficiencia en la utilización de los recursos aplicados a cada sistema, es mayor en todos los casos a la tasa de oportunidad del mercado (en Colombia a la fecha de agosto 30 es de 25,55% año corrido).
- La relación beneficio-costo, la cual indica cuánto es el beneficio del proyecto por cada unidad o peso invertido en el mismo, en el caso de las tres alternativas es superior a uno (1), es decir que por cada peso invertido el retorno está entre \$1,65 y \$2,00.
- En todos los casos analizados, el período de recuperación de la inversión no es superior a los dos años, lo cual indica que el punto de equilibrio del proyecto se logra en un lapso de tiempo relativamente breve.

Tabla 9. Indicadores de rentabilidad de los sistemas de tratamiento de efluentes.

| Sistema          | VPN* (miles de pesos) | TIR (%) | Relación costo-beneficio | Período de recuperación (años) |
|------------------|-----------------------|---------|--------------------------|--------------------------------|
| Laguna Oxidación | 101.747               | 80      | 2,00                     | 2                              |
| Laguna Carpada   | 151.939               | 59      | 1,75                     | 2                              |
| Biodigestor      | 173.027               | 55      | 1,65                     | 2                              |

VPN = Valor presente neto; TIR = Tasa interna de retorno.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BACA, G. 1997. Evaluación de proyectos. McGraw-Hill Editorial, México, D.F. 339p.
- BOWKETT, A. 1989. La palma de aceite: algunas soluciones a los problemas ambientales. Palmas (Colombia) v.10 no.2, p.31-35.
- CONIL, Ph. 1989. Biodigestores para lodos de palma: La experiencia colombiana. Palmas (Colombia) v.10 no. 2, p.31-35.
- MA,A.; ONG, A.S. 1987. Procesamiento del aceite de palma: progreso en el campo del tratamiento de efluentes. Palmas (Colombia) v.8 no. 1, p.63-66.
- MIRANDA, J. J. 1997. Gestión de proyectos: identificación, formulación y evaluación. MB Editores, Santafé de Bogotá. 365 p.
- PETITPIERRE, G. 1983. Tratamiento del efluente del aceite de palma: la producción de biogás. Palmas (Colombia) v.4 no.2, p.21-25.
- WOOD,B. J.; UM, K.H. 1989. Desarrollo de las aplicaciones de los efluentes de las plantas extractoras de aceite y caucho. Palmas (Colombia) v.10 no. 4, p.27-42.