
***EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL PRODUCIDO POR EL
TRATAMIENTO ANAEROBIO DE VINAZAS***

**YAZMIN LUCERO COBOS BECERRA
HELDA MILENA ORTIZ GOMEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
Facultad de Ingenierías Físico-Químicas
Especialización en Ingeniería Ambiental
Bucaramanga, 2007**



***EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL PRODUCIDO POR EL
TRATAMIENTO ANAEROBIO DE VINAZAS***

**YAZMIN LUCERO COBOS BECERRA
HELDA MILENA ORTIZ GOMEZ**

**Trabajo Presentado como requisito para
Optar el título de Especialista en Ingeniería Ambiental**

**Director
Ing. Qco. PhD. Leonardo Acevedo Duarte**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
Facultad de Ingenierías Físico-Químicas
Especialización en Ingeniería Ambiental
Bucaramanga, 2007**

*Este es un paso más que me hace estar mas cerca
de todas las metas que deseo cumplir,
lo dedico a mis padres, mi hermano y
a Iván René quien me ha dado su apoyo
incondicional para seguir adelante.*

Lucero Cobos

*Con amor y gratitud, a las personas más
importantes de mi vida, que han sido la razón,
el motor y la fuerza de todos mis logros:
Mis padres y mi hermano*

Helda Milena

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo se permiten agradecer a:

- ⇒ Dr. Leonardo Acevedo Duarte y Dr. Carlos Fernando Guerra por su gran apoyo en el desarrollo de este trabajo.
- ⇒ Ing. Qca., M.Sc. Marisol Vergara, Ing. Qco. Guillermo Acero, Biol. Claudia Sandoval, por su apoyo y colaboración.
- ⇒ A Vanessa, Emerson y Héctor por ser muy buenos amigos y compañeros en la Especialización.
- ⇒ Aydeé Acelas por su apoyo, paciencia y comprensión.
- ⇒ Todas las personas que de alguna forma estuvieron vinculadas con este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y ANTECEDENTES	4
2. INDUSTRIA DEL AZUCAR – ALCOHOL ETILICO	10
2.1 <i>Proceso de producción del Azúcar a partir de Caña de Azúcar</i>	13
2.1.1 <i>Proceso de producción del azúcar</i>	13
2.1.2 <i>Proceso de refinación del azúcar</i>	17
2.2 <i>Proceso de producción del Alcohol Etílico</i>	19
3. TECNOLOGIAS USADAS EN EL TRATAMIENTO DE VINAZA	23
3.1 <i>Compostaje de Vinaza</i>	26
3.2 <i>Evaporación y Concentración de Vinaza</i>	29
3.3 <i>Biometanización – Tratamiento Anaerobio de Vinaza</i>	33
3.4 <i>Comparación de las tecnologías más usadas en el tratamiento de vinazas</i>	36
4. TRATAMIENTO ANAEROBIO DE VINAZA	37
4.1 <i>Digestión Anaerobia</i>	38
4.2 <i>Ventajas del tratamiento anaerobio</i>	39
4.3 <i>Tecnologías del tratamiento anaerobio</i>	41
5. EVALUACION DE IMPACTOS AMBIENTALES	43
5.1 <i>Metodologías para la Evaluación del Impacto Ambiental</i>	46



5.1.1	Método de Leopold	48
6.	PLANTA DE TRATAMIENTO ANAEROBIO DE VINAZA – PTAV	51
6.1	<i>Actividades del Proyecto</i>	54
6.2	<i>Identificación de Impactos Ambientales</i>	55
6.3	<i>Evaluación de Impactos Ambientales</i>	58
6.3.1	Caracterización de los Impactos	61
6.4	<i>Resultados Obtenidos</i>	71
7.	CONCLUSIONES	74
8.	RECOMENDACIONES	75
9.	BIBLIOGRAFIA	76
	ANEXOS	83

Lista de Tablas

		<i>Pág.</i>
Tabla 1.	Destilerías actualmente en funcionamiento	12
Tabla 2.	Composición típica del mosto fermentado	21
Tabla 3.	Características físico-químicas de la vinaza	24
Tabla 4.	Producción de vinazas en Ingenios Azucareros-Alcoholeros Colombianos	24
Tabla 5.	Usos de la vinaza	25
Tabla 6.	Relación Cachaza:Vinaza usada en el compostaje	28
Tabla 7.	Porcentaje de Materia Orgánica (M.O) y nutrientes NPK, para la vinaza concentrada a 60° BRIX y vinaza seca.	30
Tabla 8.	Ventajas y desventajas de las tecnologías usadas en el tratamiento de vinaza	36
Tabla 9.	Ventajas y desventajas del método de Leopold	50
Tabla 10.	Identificación de las acciones del proyecto PTAV que podrían transformar el medio	54
Tabla 11.	Componentes ambientales afectados por las actividades del proyecto	56
Tabla 12.	Relación entre impactos y componentes ambientales	57
Tabla 13.	Matriz de Leopold para la calificación de los impactos ambientales	59
Tabla 14.	Matriz de interacciones entre impactos ambientales y las acciones del proyecto	60
Tabla 1C.	Ventajas y desventajas del reactor de lecho fijo	VI
Tabla 2C.	Ventajas y desventajas del reactor UASB	VII
Tabla 3C.	Ventajas y desventajas de los reactores de lecho fluidizado/expandido	VIII
Tabla 1D.	Factores ambientales	X
Tabla 2D.	Acciones propuestas que pueden causar impacto ambiental	XI

Lista de Figuras

		<i>Pág.</i>
Figura 1.	Desarrollo Sostenible y minimización de impactos	2
Figura 2.	Plantas de producción de Alcohol Etilico en Colombia	7
Figura 3.	Destilería Ingenio INCAUCA	13
Figura 4.	Destilería Ingenio MANUELITA	13
Figura 5.	Diagrama del proceso de producción del Azúcar a partir de la Caña de Azúcar	18
Figura 6.	Productos obtenidos del procesamiento de la caña de azúcar	19
Figura 7.	Diagrama de bloques del proceso de producción del alcohol etílico	22
Figura 8.	Alternativas de tratamiento para las vinazas	26
Figura 9.	Planta de compostaje, Ingenio INCAUCA	29
Figura 10.	Evaporador FLUBEX para la concentración de vinaza	31
Figura 11.	Fertilización de cultivos de caña con vinaza concentrada	32
Figura 12.	Digestor de tanque agitado (Ecomet, XT)	35
Figura 13.	Etapas de la digestión anaeróbica	39
Figura 14.	Integración de sistemas físicos, biológicos y humanos en la dimensión ambiental	44
Figura 15.	Concepto de impacto ambiental	45
Figura 16.	Estructura conceptual del proceso de evaluación de impactos ambientales	46
Figura 17.	Representación de la cuadrícula de la matriz de Leopold	49
Figura 18.	Esquema de la planta de tratamiento anaerobio de vinazas	51
Figura 1C.	Reactores usados en al digestión anaerobia	IX



Lista de Gráficos

		<i>Pág.</i>
Gráfico 1.	Producción de azúcar y etanol (Toneladas métricas equivalentes a azúcar crudo)	12

Lista de Anexos

		<i>Pág.</i>
Anexo A.	Etapas de la digestión anaerobia	<i>I</i>
Anexo B.	Factores que influyen en la digestión anaerobia	<i>III</i>
Anexo C.	Tipos y características de los reactores anaerobios	<i>V</i>
Anexo D.	Listados de factores ambientales y acciones probables propuestas por Leopold <i>et al.</i> , 1971.	<i>X</i>

RESUMEN

TÍTULO

*EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL PRODUCIDO POR EL TRATAMIENTO ANAEROBIO DE VINAZAS*¹

AUTORES

COBOS BECERRA, Yazmín Lucero; ORTIZ GOMEZ, Helda Milena. **

Palabras Claves:

Vinazas, Digestión Anaerobia, Impacto Ambiental, Matriz de Leopold.

En busca de un desarrollo sostenible, el tratamiento de los residuales de la industria alcoholera es un paso obligado dada sus características contaminantes, la vía tecnológica de producción de biogás (Digestión Anaerobia), para disminuir su carga contaminante, se conjuga con los objetivos del desarrollo energético de la industria que a su vez, también contribuye a la disminución del efecto de invernadero. El aprovechamiento a largo plazo de todo el potencial disponible en el tratamiento de este tipo de residuales, significará una gran cantidad de biogás, además cantidades significativas de lodos biofertilizantes, para su uso en la producción agrícola.

En este trabajo se identificaron y evaluaron los impactos ambientales concernientes a la instalación y operación de una planta de tratamiento anaerobio de vinazas, en el cual se analizó la dimensión ambiental desde un sentido amplio, tanto en sus aspectos naturales (agua, aire, suelo, flora, fauna) como en aspectos en donde puede causar daño al ambiente en cuanto a contaminación; además se identificaron los beneficios de la utilización de este tipo de tecnología para la industria azucarera/alcoholera.

Para la evaluación se usó el método de Leopold, el cual es útil en la identificación y valoración de impactos ambientales, y puede ser ajustado a características específicas del proyecto, arrojando resultados cuali-cuantitativos, realizando un análisis de las relaciones de causalidad entre una acción dada y sus posibles efectos en el ambiente.

Los resultados arrojados por la matriz de Leopold, identifican la mayoría de las acciones realizadas en la etapa de construcción del proyecto como actividades que tienen una importancia significativa sobre los componentes ambientales analizados, sin embargo estas actividades no son permanentes. Por otro lado; se puede observar que los componentes ambientales más afectados por las acciones del proyecto propuestas, son: Aire – composición atmosférica, Agua – calidad y disponibilidad, Morfología y Paisaje y Socio-Económico – Salud.

¹ *Monografía de Grado*

** *Facultad de Ingenierías Físico-químicas, Especialización en Ingeniería Ambiental, Director: Ph.D. Leonardo Acevedo Duarte.*

SUMMARY

TITLE

*ENVIRONMENTAL IMPACT EVALUATION PRODUCED BY THE ANAEROBICAL TREATMENT OF VINASSES*²

AUTHORS

COBOS BECERRA, Yazmín Lucero; ORTIZ GOMEZ, Helda Milena. **

Key Words:

Vinasses, Anaerobic Digestión, Environmental Impact, Leopold Matrix.

In search of a sustainable development, the treatment of distillery wastewater is a forced step due to its polluting characteristics, the technological route of biogas production (Anaerobic Digestion), to diminish its polluting load, is conjugated with the power development objectives of the industry that as well, also contributes to the green house effect diminution. The long term advantage of all the potential available in the treatment of this type of wastewater will mean a great amount of biogas, in addition great amounts of biofertilizers sludge, for its use in the agricultural production.

In this work the environmental impacts concerning the installation and operation of an anaerobic treatment plant of vinasses were identified and evaluated, in which the environmental dimension was analyzed from an ample sense, as much in its natural aspects (water, air, ground, flora, fauna) like in aspects in where it can cause damage to the environment as far as contamination; in addition the benefits of the use of this type of technology for the sugar/distillery industry were identified.

The Leopold method was used for the evaluation, which is useful in the identification and valuation of environmental impacts, and can be fit to specific characteristics of the project, throwing qualitative results, making an analysis of the causality relations between a given action and its possible effects in the environment.

The results obtained by the Leopold matrix, identify most of the actions realized in the construction stage of the project like activities that have a significant importance on the analyzed environmental components, nevertheless these activities are not permanent. On the other hand; it is possible to be observed that the environmental components more affected by the propose actions of the project, are: Air - atmospheric composition, Water - quality and availability, Morphology and Socioeconomic - Health.

² Graduation Project

** Physical-Chemical Engineering Faculty. Environmental Engineering Specialization. Director: Ph D. Leonardo Acevedo Duarte.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el uso del etanol como carburante reviste especial importancia no sólo con el fin de disminuir la dependencia del petróleo y enfrentar la crisis energética, sino también como una manera efectiva de contribuir a la reducción del gran impacto ambiental generado por los combustibles derivados del petróleo.

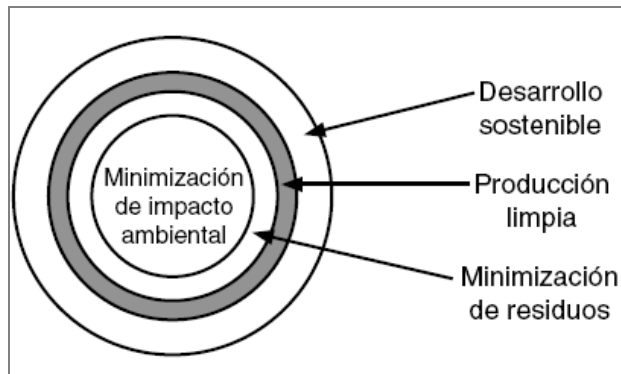
En Colombia, la pérdida de la autosuficiencia de combustibles fósiles, la importación de crudo para abastecer las refinerías y el cumplimiento de la legislación ambiental (Ley 693 de 2001) que obliga para el año 2005 a cumplir con unos estándares de producción limpia ha llevado a considerar el etanol como la solución más viable para sustituir parte de las importaciones de gasolina y mejorar la calidad del aire de nuestras ciudades (Acosta, 2003). De ahí la necesidad de evaluar desde el punto de vista ambiental, los procesos para la producción de etanol a partir de recursos agrícolas propios del país, como la caña de azúcar y el maíz.

El punto de partida para satisfacer los estándares de producción limpia es el diagnóstico ambiental del proceso industrial, a fin de determinar las oportunidades de prevención y reducción en el origen de la contaminación y las alternativas viables para realizar dicha reducción. Es así como en las últimas cuatro décadas el diseño de procesos y la manufactura de sustancias químicas han experimentado gran evolución en este sentido. Inicialmente los sistemas de reacción y separación eran diseñados y optimizados sólo con un objetivo económico. En los años setenta y ochenta del siglo pasado, debido a la crisis global energética, el sistema de servicios fue incluido entre los procesos de diseño y optimización. Hoy, bajo el esquema de producción limpia, deben tenerse en cuenta en forma adicional al objetivo económico y energético, tanto

la consideración de los impactos ambientales del proceso, así como otras etapas del ciclo de vida del producto. (Montoya *et al.*, 2006).

La minimización y aprovechamiento de los residuos se ha estudiado extensamente en la industria, como una de las herramientas para alcanzar la producción limpia y contribuir al desarrollo sostenible. Esta herramienta incorpora tanto la reducción en la fuente como el uso de reciclados para reducir las cantidades y riesgos de los residuos. En este sentido, la minimización del impacto ambiental es una norma más estricta y aunque tiene alcances similares a los de la minimización de residuos, resalta más los diferentes impactos de las especies químicas sobre el ambiente. (Yang y Shi, 2000).

Figura 1. Desarrollo sostenible y minimización de impactos.



Fuente: Yang y Shi, 2000.

El residuo producido por la industria del etanol que más impacto ambiental genera es “la vinaza”, responsable de casi el 70% de la contaminación ocasionada por las destilerías (45% del flujo total, 92% de la DQO y 95% de sólidos totales). Esta corresponde al residuo líquido que produce la destilación del mosto fermentado; se obtiene en grandes volúmenes, con una alta concentración de materia orgánica expresada como DQO (Demanda Química de Oxígeno) que varía entre 60.000 – 120.000 mg/L, además altas concentraciones de potasio y sulfatos, y temperaturas de descarga que oscilan entre los 80 – 100°C. Las características de la vinaza se ven influenciadas por la naturaleza y composición química del sustrato usado en la

fermentación alcohólica; por ejemplo, la vinaza de melaza de caña, contiene altas concentraciones de sulfato, precursor del H_2S ; a diferencia de las vinazas de remolacha que contienen aminoácidos, precursores del amoniaco.

Diversas investigaciones se han realizado con el fin de darle solución al “*problema de las vinazas*”, y se han hecho ciertos avances en este tema, desde emplear este residuo como fertilizante para los terrenos cercanos a la planta de producción de alcohol, con un tratamiento previo que puede ser fisicoquímico (evaporación, concentración y recirculación) o biológico como el compostaje, calcinación para obtener $CaCO_3$ hasta emplear biodigestores aerobios y/o anaerobios, cuyo principal objetivo es la disminución de la elevada carga orgánica contenida en estos residuos.

En los últimos 30 años se han realizado diversos estudios sobre la aplicabilidad de la biotecnología al tratamiento de residuos con elevada DQO y a partir de ellos se ha llegado a diversos resultados; por un lado se tienen los procesos aerobios a través de los cuales se logra una alta remoción del contenido orgánico en la fuente, pero presenta la formación y acumulación de lodos, los cuales generan otro impacto ambiental debido a su disposición. En contraparte, están los procesos anaerobios que si bien la eficiencia en la remoción de materia orgánica no es tan alta como en los anteriores (70 – 80%) cuentan con una baja producción de lodos, y además, presentan la formación de un gas compuesto principalmente por CH_4 y CO_2 (Biogás); éste último representa la obtención de una fuente alternativa de energía que puede ser aprovechada por la misma industria.

Con base en lo anterior, en este trabajo se analizan y evalúan los impactos ambientales generados por el tratamiento anaerobio de vinazas, considerándolo como la mejor alternativa para la disposición final de este tipo de residuo, teniendo en cuenta que usando dicha tecnología se obtiene una alternativa de sostenibilidad para la industria del alcohol etílico.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y ANTECEDENTES

La utilización de los biocombustibles líquidos es tan antigua como la de los mismos combustibles de origen fósil y los motores de combustión interna. En el transcurso de la historia, los biocarburantes siempre han tenido en cuenta la crisis de los recursos petrolíferos, su principal referente y el núcleo dinámico de su desarrollo. Las crisis energéticas que sacudieron el siglo XX y la preocupación mundial por la conservación del medio ambiente, fueron las principales razones para incentivar la búsqueda de nuevas fuentes energéticas como el etanol.

En Colombia, actualmente se están llevando a cabo proyectos con los que se busca introducir combustibles renovables en la canasta nacional. Desde el año 1995, en la Resolución No. 898 del 23 de agosto, el Ministerio del Ambiente introdujo la especificación del oxígeno en las gasolinas, seguidamente la ley 693 del 2001, implantó el uso del etanol de la biomasa en las gasolinas que se utilizan en las principales ciudades del país (Campuzano, 2004). Con los proyectos en marcha, para abastecer la gran demanda de etanol que tendrá el país se pretende hacer un mejor uso de los recursos naturales renovables, generando un amplio estímulo al desarrollo del campo y reduciendo las emisiones de gases de invernadero. Por otro lado, con la creciente demanda de etanol en auge actualmente, también se incrementará la producción de vinaza enormemente, es debido a esto que se deben implementar tecnologías de tratamiento de dicho residuo el cual se puede transformar en un mejorador de suelos que se aplica en las mismas plantaciones (caña de azúcar, papa, yuca y maíz, de donde se obtiene el etanol) y produciendo biogás, que puede ser utilizado para la generación de energía; todo lo anterior con el fin de contribuir a la economía del proceso.

El uso del alcohol carburante es la primera gran aproximación de Colombia para entrar en la llamada era de los biocombustibles, que desde hace varios años comenzó a revolucionar el mundo desarrollado y que cada día cobra más vigencia debido a la conciencia por reducir el nivel de contaminación de las ciudades. (ECOPETROL, 2005).

El objetivo del programa de Biocombustibles en el país y en el mundo es propender por la diversificación de la canasta energética a través del uso de este combustible, crear conciencia de sostenibilidad ambiental a largo plazo, mantener y desarrollar el empleo agrícola, contar con autosuficiencia energética y fortalecer el desarrollo agroindustrial. Es por esto que es importante para Colombia la adopción del uso del alcohol carburante en las gasolinas debido a varias razones: (Federación Nacional de Biocombustibles, 2005)

- ★ *Disminución de emisiones contaminantes a la atmósfera:* Con la mezcla de solo 10% de etanol con la gasolina, se disminuyen en 27 por ciento las emisiones de monóxido de carbono en carros nuevos, 45% en carros típicos colombianos de 7-8 años de uso y 20 por ciento de hidrocarburos no quemados a nuestra atmósfera, con las positivas consecuencias para la salud humana y ambiental.
- ★ *Atenuar la crisis del petróleo:* Es cierto que Colombia está abocada a un desabastecimiento de petróleo en escasos dos años a partir de ahora. Las consecuencias de orden fiscal causarán más pobreza y muchas dificultades al Estado, porque los escasos recursos que tenga, deberán ser destinados a la compra en el exterior de los hidrocarburos que el país necesita para mantener, como mínimo, el nivel de desarrollo actual. Los aumentos de precios de los combustibles empobrecerán al consumidor y frenarán el desarrollo.
- ★ *Generar más empleo rural:* Una de las razones para que el Congreso de la República aprobara la ley del alcohol carburante, fue, precisamente, la necesidad de crear empleo y desarrollo en las áreas rurales. Se estima que para producir el etanol para suplir el 10% de la mezcla que la reglamentación dispuso, será necesario crear cerca

de 170 mil nuevos empleos, que estarán distribuidos en casi todas las regiones deprimidas de Colombia. El cambio social será evidente, no solamente por la cadena del alcohol, sino por todas las empresas de distintos tamaños y especialidades que se crearán a su alrededor.

- ★ *Estabilizar el negocio panelero, hoy en crisis:* Conocido es que los bruscos cambios cíclicos de los precios han marcado la constante en el negocio panelero. Ese ciclo se romperá con la introducción de un elemento estabilizador, como lo será la producción de alcohol en esas zonas. Por supuesto, la cultura panelera y la especialización de los trabajadores del campo, no se verá sustituida por la del alcohol. Simplemente, el aumento considerable de la productividad con la introducción de nuevas variedades de caña azucarera y sistemas de molienda, permitirán que las dos industrias marchen en paralelo. De esa manera, el campesino, sin dejar de hacer lo que sabe, se podrá asociar con una industria complementaria que le aportará recursos para aspirar a nuevas condiciones de vida, más justas y a mantener el precio de la panela a niveles de competencia, sin las fluctuaciones actuales.
- ★ *Estabilizar el precio del azúcar:* Alrededor de un 35% del azúcar colombiana enviada a los mercados internacionales compite con bajos precios, sustentados, de alguna manera, por los precios internos y las cuotas asignadas por gobiernos extranjeros. Brasil, el mayor productor de azúcar del mundo, gracias a su incursión en la producción de alcohol para abastecer su inmensa flota vehicular, precisamente en los momentos en que gran parte de sus divisas estaban siendo utilizadas para comprar petróleo extranjero. Hoy, sin excepción, todos los vehículos que circulan en esa nación, usan gasolina mezclada con un promedio de 25% de etanol originado en la biomasa. De allí que la industria azucarera colombiana haya decidido entrar en el negocio del alcohol carburante, que le dará a los cultivadores de caña azucarera estabilidad en los precios de venta, mejorará el empleo y las condiciones de progreso de las regiones, en especial, de aquellas nuevas en las que se establezca la nueva industria.

Figura 2. Plantas de producción de Alcohol Etilico en Colombia



Fuente: ECOPETROL, 2005. (Algunas de las plantas aun están en construcción)

La capacidad de las plantas productoras de alcohol etílico varía entre 100.000 – 300.000 L/día, lo cual representa una producción diaria por planta de 1.250.000 – 3.750.000 L de vinaza. Para la producción de azúcar y alcohol de caña, se requiere de la utilización de enormes cantidades de agua, que superan el millón de metros cúbicos por día y de energía, que proviene principalmente de la combustión (generalmente ineficiente) del bagazo y de combustibles fósiles de baja calidad (con altos contenidos de azufre). En la fabricación de azúcar se desechan las aguas que provienen del lavado de la caña, de la clarificación del jugo, de la limpieza de los evaporadores, calentadores y purgas de calderas, de los sistemas de enfriamiento y de los servicios sanitarios. En la producción del alcohol etílico se tienen como desechos las aguas de enfriamiento de condensadores y tinas de fermentación, los fondos de éstos y las vinazas o residuos de las torres de destilación.

De todas las aguas residuales provenientes de los complejos azucareros/alcoholeros, las que son más contaminantes por su concentración de material orgánico biodegradable y no biodegradable son las vinazas, que se producen en una

proporción de 12 a 15 litros por cada litro de alcohol destilado. Si bien es cierto, que el impacto ambiental causado por las vinazas es alto, puede considerarse que tienen un gran valor como enmiendas de suelos por su contenido de sales de nitrógeno, potasio y otros componentes útiles para el suelo. Estas características de la vinaza siempre han sido reconocidas, por lo cual se ha tratado de darles un uso posterior en lugar de su simple vertimiento. (Duran *et al.*, 1991).

La vinaza es un residuo industrial del proceso de la destilación alcohólica; el volumen producido de ésta es elevado, y debido a su alto contenido de materia orgánica, éste residuo presenta una elevada Demanda Química de Oxígeno (DQO), además posee un pH muy bajo (4 – 4,5) y una temperatura muy elevada (80 - 95°C), lo que la convierte en un agente muy contaminante del medio ambiente, que si es descargado directamente a cuerpos de agua causaría una alteración irreversible de los ecosistemas acuáticos. Según la Legislación Colombiana, mediante el Decreto 1594 de 1984, artículo 72, se resalta que los vertimientos a cuerpos de agua de residuos líquidos deben tener las siguientes características, pH entre 5 y 9 unidades, temperatura menor a 40°C y ausencia de sólidos suspendidos, además para las industrias que utilicen directa o indirectamente los ríos o fuentes de agua para el vertimiento de residuos deberán sujetarse al pago de tasas retributivas según lo especificado en el Artículo 142 del Decreto 1594 y según los Decretos 901 de 1997 y 3440 de 2004.

En busca de un desarrollo sostenible, el tratamiento de los residuales de la industria alcohólica es un paso obligado dada sus características contaminantes y en ese importante objetivo, la vía tecnológica de producción de biogás (Digestión Anaerobia), para disminuir su carga contaminante, se conjuga con los objetivos del desarrollo energético de la industria que a su vez, también contribuye a la disminución del efecto de invernadero. El aprovechamiento a largo plazo de todo el potencial disponible en el tratamiento de este tipo de residuales industriales, significará una gran cantidad de biogás, además cantidades significativas de lodos biofertilizantes, para su uso en la producción agrícola. (Valdés *et al.*, 1997).



En este trabajo se busca identificar y evaluar los aspectos e impactos ambientales concernientes a la instalación y operación de una planta de tratamiento anaerobio de vinazas provenientes de la producción de alcohol etílico, en el cual se analizará la dimensión ambiental desde un sentido amplio, tanto en sus aspectos naturales (como el suelo, la flora, la fauna) como en aspectos en donde puede causar daño al ambiente en cuanto a contaminación (aire, agua, suelo, residuos); además se identificarán los beneficios de la utilización de este tipo de tratamiento para la industria azucarera/alcoholera.

2. INDUSTRIA DEL AZUCAR – ALCOHOL ETILICO

La importancia que hoy en día tienen los temas de corte energético, no sólo en nuestro país, sino en el mundo en general, nos obliga a la búsqueda permanente de aquellas alternativas que, habiendo probado su viabilidad técnica, se presenten como opciones económicas a los hidrocarburos, cuya expectativa de utilización es finita y cada vez más próximo su agotamiento.

La Agroindustria de la Caña de Azúcar en Colombia, está bien consciente del rol que esta planta jugará en el futuro, dada su mayor fortaleza, a saber “*pronta renovabilidad*”, y secuestradora potencial de CO₂. Es aquí donde surge el alcohol etílico, como una contribución al balance energético y a la detención del mal de los últimos tiempos; “*el cambio climático*”. (Enríquez, 2005).

El sector azucarero colombiano se encuentra ubicado en el valle geográfico del río Cauca, que abarca 33 municipios desde el norte del departamento del Cauca, pasa por el centro del Valle del Cauca y llega hasta el sur del departamento de Risaralda. En la región hay más de 200.000 hectáreas sembradas en caña, de las cuales, según censo de 2002, el 20% correspondía a tierras propias de los ingenios y el restante 80% a más de 1.500 cultivadores de caña. Existe un ingenio afiliado, Sicarare, que se encuentra ubicado en el departamento del Cesar, en el norte de Colombia.

Gracias al clima privilegiado de la región, puede cosecharse caña durante todos los meses del año. Esta condición agroclimática, sumada al avance tecnológico impulsado por Cenicaña gracias al aporte de cultivadores e ingenios, ha llevado a que la región se especialice en este cultivo, y obtenga rendimientos superiores a las 110 toneladas de caña por hectárea y alrededor de 13 toneladas de azúcar por hectárea al año.

En Colombia, en el año 2005 se produjeron cerca de 2,7 millones de toneladas de azúcar a partir de aproximadamente 21 millones de toneladas de caña. El valor comercial de la producción alcanzó una cifra cercana a los 800 millones de dólares, donde se incluyen los más de 250 millones que se exportan anualmente de azúcares y mieles.

El consumo nacional de azúcar llega a 1,5 millones de toneladas, distribuido en un 65% destinado al consumo directo en los hogares y un 35% a la fabricación de productos alimenticios y bebidas para consumo humano. La producción adicional de azúcar, más de 1,1 millones de toneladas al año, es exportada a diferentes países alrededor del mundo. Los destinos principales son aquellos a los cuales Colombia accede bajo tratamiento arancelario preferencial, como los países andinos (actualmente Ecuador y Perú), y la cuota americana otorgada por Estados Unidos. El resto del azúcar, cerca del 70% del total exportado, se envía a Venezuela (vecino que fue parte de la Comunidad Andina y que mantiene vigentes preferencias comerciales a Colombia) y a otros múltiples destinos alrededor del mundo.

Las exportaciones de azúcar representan cerca del 1,7% de las exportaciones totales del país y el 3% de las no tradicionales. Para el departamento del Valle del Cauca equivalen al 70% del volumen total exportado. Dentro de la economía nacional, el sector aporta con el 0,7% del PIB total, el 3% del PIB Industrial y el 4% del PIB Agrícola, mientras que para la región, estas cifras corresponden a 6%, 12% y 47%, respectivamente (Asocaña, 2007).

Por otra parte la caña de azúcar esta siendo utilizada para la producción de etanol, en el Valle del Cauca, Cauca y Risaralda, cinco (5) destilerías de alcohol iniciaron su producción entre finales de 2005 y principios de 2006, como respuesta a la ley de oxigenación de la gasolina vehicular; gracias al dinamismo e interés de los principales ingenios azucareros. Para cubrir la demanda anual de oxigenar las gasolinas con el 10% de alcohol anhidro en las principales siete ciudades del país, demanda que se calcula en 1,2 millones de litros alcohol por día, es necesario contar con 5,93 millones

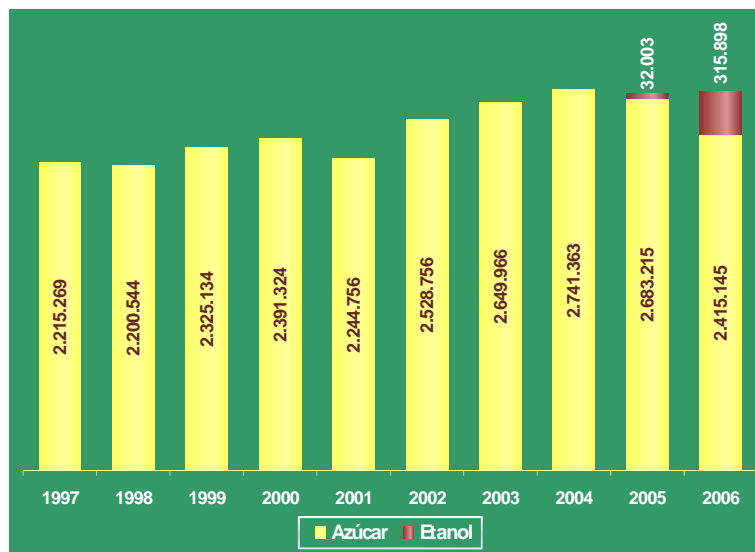
de toneladas de caña de azúcar, es decir, con 54 mil hectáreas sembradas. Por lo anterior, el Gobierno recomendó construir destilerías que cubran la demanda del país (750.000 a 1.000.000 de litros por día) con una capacidad teórica entre 150 a 300 mil litros por día. El etanol beneficiará tanto a los ingenios y a los cultivadores de caña que ven en este tipo de combustible una nueva oportunidad de negocios, pero el beneficio mayor lo tendrá el país al disminuir los niveles de CO₂ por la combustión de la mezcla alcohol – gasolina. El alcohol y sus derivados serían muy importantes, no solamente para sustituir importaciones, sino también porque crearían nuevas exportaciones con un mayor valor agregado. (Quintero *et al.*, 2006).

Tabla 1. Destilerías Actualmente en Funcionamiento.

REGION	DESTILERIA	CAPACIDAD Litros /día	MATERIA PRIMA
CAUCA	Incauca	300.000	 Caña de Azúcar
VALLE DEL CAUCA	Manuelita	250.000	
VALLE DEL CAUCA	Mayagüez	150.000	
VALLE DEL CAUCA	Providencia	250.000	
RISARALDA	Risaralda	100.000	

Fuente: Coogrocampo, 2007

Grafico 1. Producción de Azúcar y Etanol (Toneladas Métricas equivalentes a Azúcar Crudo).



Fuente: Asocaña, 2007

Figura 3. Destilería Ingenio INCAUCA



Fuente: Incauca, 2006

Figura 4. Destilería Ingenio MANUELITA



Fuente: Manuelita, 2007

En los años siguientes, entrarán en operación plantas de producción de alcohol en otros sitios de Colombia para garantizar la demanda de alcohol carburante existente.

2.1 Proceso de Producción del Azúcar a partir de Caña de Azúcar

La caña de azúcar es una gramínea perenne con fácil adaptación a climas tropicales y temperaturas superiores a 20°C, dependiendo de la variedad la planta puede llegar a medir entre 3 y 5 m de altura, y de cada siembra inicial se puede llegar a obtener seis (6) cosechas. El rendimiento productivo de esta planta se encuentra en función de las cantidades de radiación solar recibida y de las precipitaciones. El procesamiento de la caña de azúcar en los ingenios permite obtener diversos productos, bagazo, cachaza, jarabe, miel final, azúcar crudo, blanco y refinado.

2.1.1 Proceso de Producción de Azúcar

El proceso de elaboración del Azúcar Cruda consta de las siguientes etapas: (Zucarmex, 2007)

1. Preparación de suelos, cosecha y recolección

La obtención de la caña de azúcar implica un seguimiento cuidadoso de todas las etapas que deben realizarse para llegar a productos de alta calidad. El proceso

productivo se inicia con la preparación del terreno, etapa previa de siembra de la caña. Una vez la planta madura entre los 12 y 14 meses, las personas encargadas de la tarea de cosecha se disponen a cortarla y recogerla a través de alce mecánico y llevarla hacia los patios de caña de los ingenios.

2. Recepción y preparación de la caña

La caña que llega del campo se muestrea para determinar las características de calidad y el contenido de sacarosa, fibra y nivel de impurezas. Luego se pesa en básculas y se conduce a los patios donde se almacena temporalmente o se dispone directamente en las mesas de lavado de caña para dirigirla a una banda conductora que alimenta las picadoras.

Las picadoras son unos ejes colocados sobre los conductores accionados por turbinas, provistos de cuchillas que cortan los tallos y los convierten en astillas, dándoles un tamaño uniforme para facilitar así la extracción del jugo en los molinos.

3. Molienda

La caña preparada llega a un tándem de molinos, en donde se extrae el jugo de la caña. En el recorrido de la caña por los molinos se agrega agua, generalmente caliente, para extraer al máximo la sacarosa que contiene el material fibroso. Este proceso de extracción es llamado maceración. El bagazo que sale de la última unidad de molienda se conduce a una bagacera para que seque y luego ser usado como combustible o al depósito de bagazo, de donde se despacha para usarlo como materia prima en la elaboración de papel.

4. Clarificación

El jugo obtenido en la etapa de molienda es de carácter ácido (pH aproximado: 5,2), luego de ser pesado en básculas; éste se trata con lechada de cal, la cual eleva el pH con el objetivo de minimizar las posibles pérdidas de sacarosa.

El jugo alcalinizado se bombea a los calentadores, donde se eleva su temperatura hasta un nivel cercano al punto de ebullición para coagular albúminas y algunas grasas, ceras y gomas y luego pasa a los clarificadores continuos, diseñados para remover las impurezas tanto solubles como insolubles, en tanto que el jugo claro que sobrenada es extraído por la parte superior. Los sólidos decantados pasan a los filtros rotatorios al vacío, los cuales están recubiertos con finas mallas metálicas que dejan pasar el jugo, pero retienen la cachaza, nombre dado a los sólidos precipitados en el clarificador, que puede ser usada como abono en la plantación de caña.

En algunos casos existe un sistema conocido como sulfitación, para lograr una disminución de pardeamientos u oscurecimiento enzimático del jugo por inactivación de las enzimas que lo provocan, quemando azufre en presencia de aire y mezclando el SO₂ resultante con el jugo en una torre en cascada a contracorriente (Jiménez-Ambríz *et al.*, 1995). A esta azúcar se le conoce como estándar o morena, ya que no es sujeta a proceso de refinación.

5. Evaporación

Aquí se comienza a evaporar el agua del jugo. El jugo claro que posee casi la mitad composición del jugo crudo extraído (con la excepción de las impurezas eliminadas en la cachaza) se recibe en los evaporadores con un porcentaje de sólidos solubles (°Brix) entre 10 y 12 % y se obtiene una meladura o jarabe con una concentración aproximada de sólidos solubles del 60 al 65 %.

Este proceso se da en evaporadores de múltiples efectos al vacío, que consisten en una solución de celdas de ebullición dispuestas en serie. El jugo entra primero en el pre-evaporador y se calienta hasta el punto de ebullición. Al comenzar a ebullición se generan vapores los cuales sirven para calentar el jugo en el siguiente efecto, logrando así al menor punto de ebullición en cada evaporador. En el proceso de evaporación se obtiene el jarabe o meladura.

6. Clarificación secundaria

La meladura se somete a una segunda clarificación por flotación con ácido fosfórico, cal, agentes floculantes y aire para separarle la espuma que contiene los sólidos que no son azúcares y que no se eliminaron en la clarificación inicial de jugo alcalinizado. Este paso del proceso es realizado en la obtención de azúcar blanco; cuando no se efectúa, se produce el llamado “azúcar crudo”. (Incauca, 2006).

7. Cristalización

La cristalización se realiza en recipientes al vacío de un solo efecto (denominados tachos). El material resultante que contiene líquido (miel) y cristales (azúcar) se denomina masa cocida con una concentración aproximada de sólidos solubles del 92%. El trabajo de cristalización se lleva a cabo empleando el sistema de tres cocimientos para lograr la mayor concentración de sacarosa.

La formación de los cristales es ayudada por la acción de pequeñas partículas finísimas, cristalinas que, al contacto con las soluciones azucaradas sobresaturadas, proporcionan un área de adherencia para el azúcar presente en dichas disoluciones. Estas partículas son denominadas pie de semilla o “*slurry*” y son agregadas en pequeñas cantidades junto con alcohol, el cual no disuelve los cristales y se evapora rápidamente.

8. Centrifugación

Los cristales de azúcar se separan de la miel restante en las centrifugas. Éstas son cilindros que giran a gran velocidad y están recubiertos con una malla fina. El líquido se escapa por entre la malla y los cristales quedan atrapados dentro de las centrifugas y luego se lavan con agua. Las mieles vuelven a los tachos, o bien se utilizan como materia prima para la producción de alcohol etílico en la destilería. El azúcar de primera calidad (A), retenido en las mallas de las centrifugas, se disuelve con agua caliente y se envía a la refinería, para continuar el proceso. Si el jugo fue sulfitado se envía a secado y se vende como azúcar estándar.

9. Secado

El azúcar húmedo se transporta por elevadores y bandas para alimentar las secadoras que son elevadores rotatorios en los cuales el azúcar se coloca en contacto con el aire caliente que entra en contracorriente. El azúcar debe tener baja humedad, para evitar los terrones.

10. Enfriamiento

El azúcar seca (0.035% de humedad) con temperatura cercana a 60°C se pasa por las enfriadoras rotatorias inclinadas que llevan aire frío en contracorriente, en donde se disminuye su temperatura hasta 40-45°C para conducirla a las tolvas de empaque (Incauca, 2006).

11. Empaque

El azúcar se empaca en diferentes pesos y presentaciones dependiendo del mercado y se despacha a la bodega de producto terminado para su posterior venta.

2.1.2 *Proceso de Refinación del Azúcar*

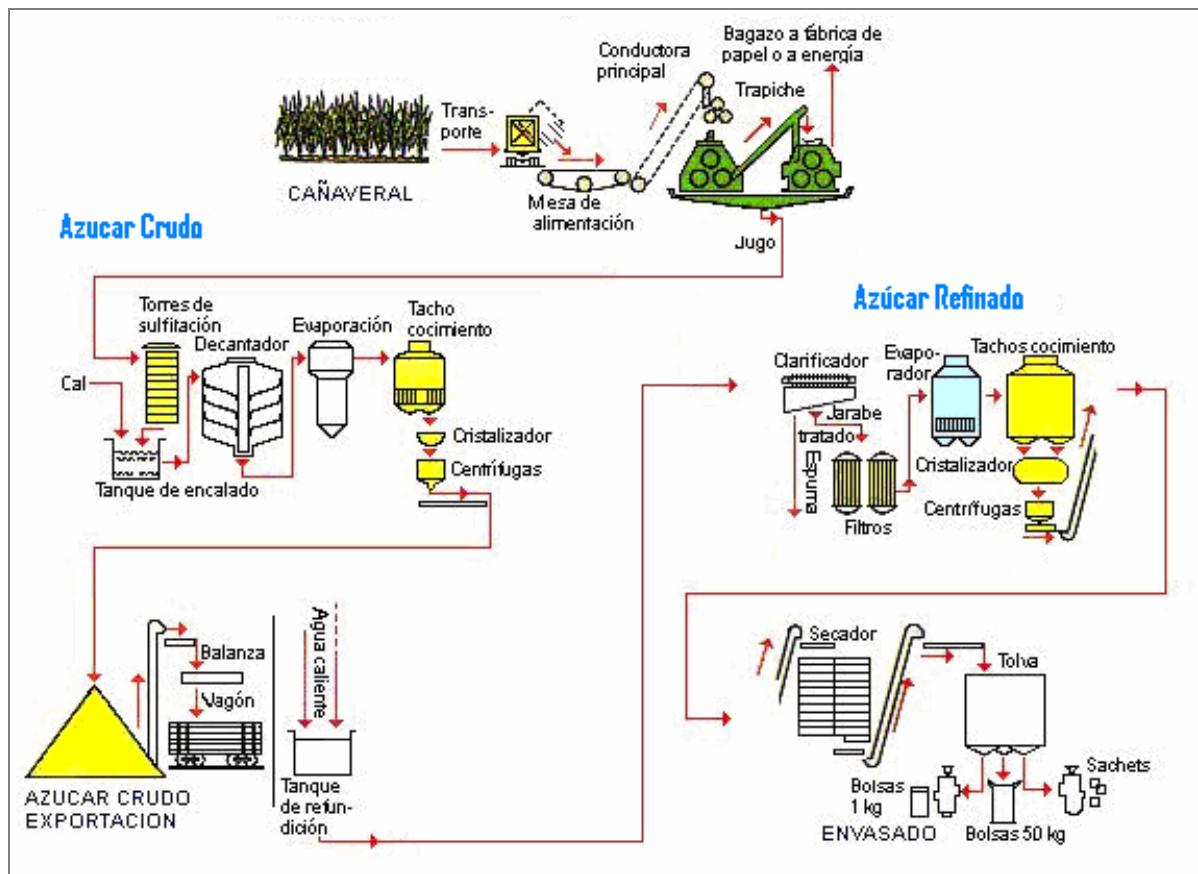
El azúcar refinado se fabrica a partir de azúcares crudos y blancos que se obtienen directamente en el proceso de elaboración, estos se disuelven con agua caliente de óptima calidad para producir un material denominado licor. El licor fundido se calienta, se clarifica y se decolora, utilizando una serie de operaciones fisicoquímicas como flotación y decoloración con carbón activado, luego se hace una filtración a presión en tres etapas para eliminar todo tipo de impurezas. La dosificación de los insumos químicos utilizados en el proceso se controla automáticamente.

El licor fino del cual se ha removido más del 98% de la turbiedad inicial, se concentra por evaporación en múltiple efecto y se envía a los tachos para su cristalización. La masa cocida que es el nombre dado a la mezcla de cristales de sacarosa y mieles obtenida en los tachos, pasa a las centrifugas intermitentes automáticas donde se separan los cristales. Los siropes o mieles se retornan a los tachos para completar su ciclo de agotamiento. Los cristales se secan y enfrían utilizando equipos de alta

tecnología como secadores enfriadores rotatorios y secadores de lecho fluidizado, completamente automatizado con control de humedad y provistos de filtros de manga y lavadores de gases para la recuperación de polvillo de azúcar.

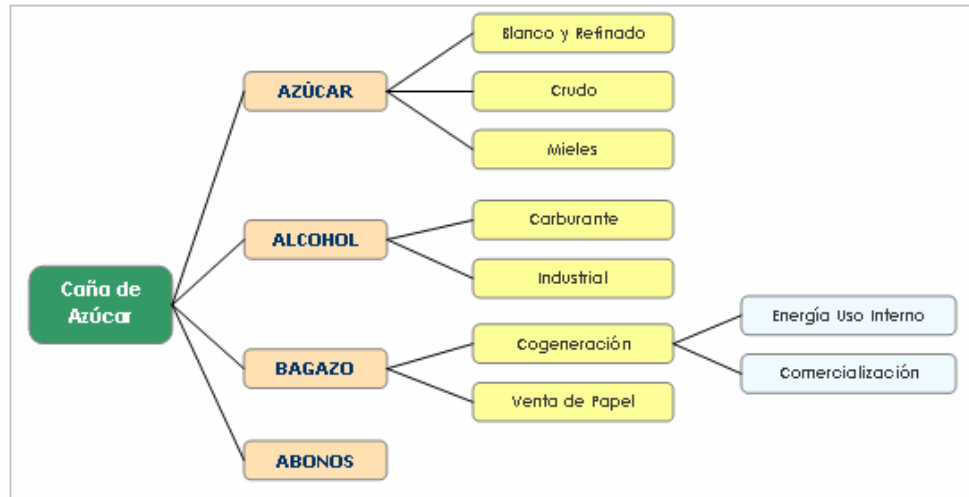
El azúcar refinado se almacena en silos donde se realizan análisis de calidad, para posteriormente ser empacada en diferentes presentaciones. (Incauca, 2006).

Figura 5. Diagrama del proceso de producción del Azúcar a partir de Caña de Azúcar.



Fuente: Adaptado de Zucarmex, 2007

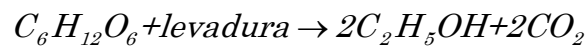
Figura 6. Productos obtenidos del procesamiento de la Caña de Azúcar.



Fuente: Asocaña, 2007.

2.2 Proceso de Producción del Alcohol Etílico

Las materias primas para la producción de alcohol son: jugo clarificado, melaza y miel B, proveniente de la fábrica de azúcar. La producción de alcohol etílico se basa en la “fermentación” de las mieles y melazas como resultado de la acción de las levaduras que en primera instancia invierten la sacarosa mediante la invertasa, y seguidamente el azúcar invertido en alcohol y dióxido de carbono. Las reacciones que rigen este proceso son:



El proceso consta de las siguientes etapas las cuales ilustran las principales operaciones llevadas a cabo en una destilería:

1. Fermentación

Esta etapa está dividida en las siguientes secciones:

- *Recepción, preparación y almacenamiento de la materia prima:* la materia prima se bombea desde la fábrica de azúcar a un tanque de pesaje de la melaza requerida para el proceso. Esto se bombea a las tinajas de preparación donde se mezcla con agua para obtener una concentración de 24°Brix.
- *Preparación y propagación de las levaduras:* se utiliza la especie *Saccharomyces cerevisiae* como inóculo de la fermentación. Las levaduras sufren inhibiciones de sus funciones si se alcanzan concentraciones de alcohol que sobrepase el 10% en volumen, por esta razón se deben preparar diluciones que no alcancen este valor. La levadura se debe desenvolver en medio ácido para ayudar a desdoblar la sacarosa e inhibir otras especies microbianas. En esta tina se agrega urea como fuente de nitrógeno para su reproducción, ácido sulfúrico para crear las condiciones ácidas y penicilina como antibiótico para evitar contaminaciones.
- *Fermentación:* La reacción de fermentación de la mezcla preparada es exotérmica, razón por la cual es necesario mantener en circulación agua de enfriamiento alrededor de las tinajas de fermentación para evitar un incremento de la temperatura por encima de 35°C. Al finalizar la generación de gas en la tina se dice que el mosto está fermentado con una concentración de azúcares de 8°Brix.
- *Separación y regeneración de levaduras:* La utilización de levaduras de tipo autofloculantes permite su recuperación mediante su separación del mosto por la parte superior de un sedimentador conocido como tanque de separación de levaduras y por el fondo las levaduras que son conducidas a los tanques de activación, con el fin de esterilizarlas, darles unas condiciones de aireación y suministrarles nutrientes para fortalecerlas y utilizarlas de nuevo en el proceso de fermentación.

2. Destilación

La destilación puede definirse como una técnica para separar sustancias mezcladas en el estado líquido, considerando la diferencia entre sus puntos de ebullición. Este proceso consiste en la evaporación del líquido, condensación y recolección de las fracciones de los compuestos con distintos puntos de ebullición.

Tabla 2. Composición típica del mosto fermentado.

COMPUESTO	PORCENTAJE
Agua	80 – 90 %
Etanol	4 – 8 %
Glicerol	0,4 – 0,6 %
Ácido acético	0,1 – 0,2 %
Levadura	0,7 – 1 %
Materia orgánica	5 – 10 %
Otros	2 – 3 %.

Fuente: Manuelita, 2007

La destilación se lleva a cabo en tres columnas:

- *Columna de Agotamiento o Destiladora:* En la primera columna el mosto entra por la parte superior previamente calentado por las vinazas que salen del fondo de la misma a una temperatura que oscila entre los 80 y los 90°C, caen a través de platos de agotamiento para separar por evaporación el alcohol. Los vapores alcohólicos pasan a condensadores de donde se transportarán a la torre depuradora.

En esta columna se presentan vinazas que son el resultado de la fermentación del mosto una vez que se ha extraído el alcohol con contenidos de materia orgánica elevados y con valores de pH de 3 a 4,5, éstas poseen un color café oscuro producido por los azúcares transformados a fenoles y polifenoles durante la concentración y cristalización.

- *Columna Depuradora:* Esta torre separa las impurezas de los vapores: éteres y alcoholes de menor punto de ebullición que el etanol. Por el fondo, sale agua con algunas trazas de alcohol, residuo conocido como flemaza.
- *Columna rectificadora:* esta columna tiene dos zonas, una de agotamiento y otra de enriquecimiento, donde se obtendrá alcohol con una pureza del 96% V/V y por el fondo, agua. Con el objeto de mejorar la calidad del alcohol, a esta columna se le hacen extracciones laterales continuas denominadas fusel alto y fusel bajo. El fusel alto es una mezcla de alcoholes rica en propanol mientras que el fusel bajo

es una mezcla de alcoholes isoamílicos. El producto de interés sale varios platos debajo de la parte superior de la columna, conocida como “cabeza” y es condensado en un intercambiador para ser enviado a la deshidratación.

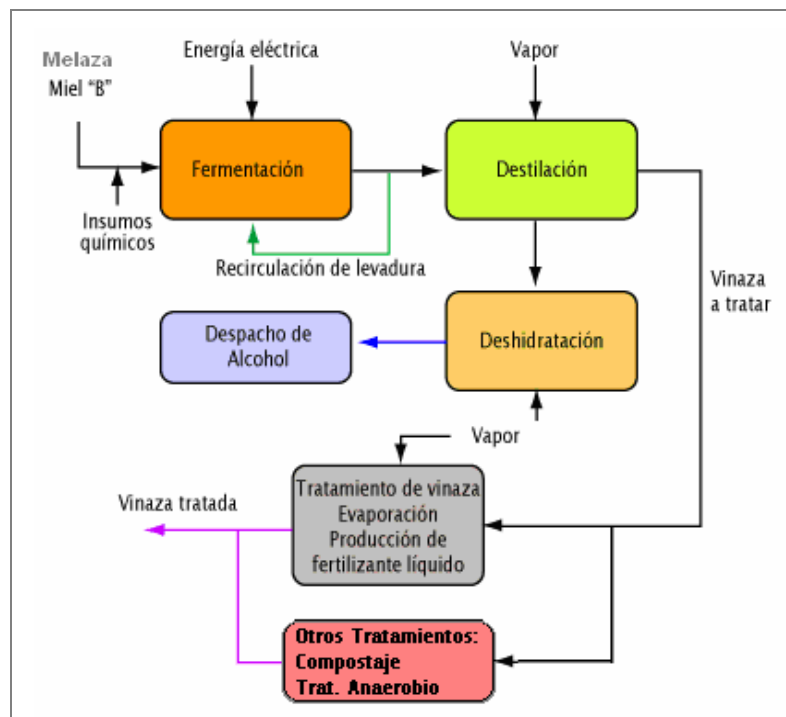
3. Deshidratación

El alcohol purificado en la destilación contiene 96% V/V de etanol y 4% v/v de agua. Para que este alcohol pueda ser usado como combustible, es necesario retirarle más agua, para obtener como producto alcohol deshidratado con una concentración de 99,5% de etanol y una cantidad mínima de agua, cumpliendo con las especificaciones establecidas para su uso como alcohol grado combustible o alcohol carburante. (Incauca, 2006).

4. Almacenamiento y despacho

Finalmente el alcohol es enviado a la zona de almacenamiento y dispuesto para su despacho a los diferentes consumidores y para suplir los requerimientos del mercado.

Figura 7. Diagrama de bloques del proceso de producción del Alcohol Etilico



Fuente: Modificado de Manuelita, 2007.

3. TECNOLOGIAS USADAS EN EL TRATAMIENTO DE VINAZAS

La vinaza es un residuo industrial del proceso de la destilación alcohólica que posee características propias, que lo convierten en un agente muy contaminante del medio ambiente; incrementan la temperatura del cuerpo receptor de agua cuando son vertidas y disminuyen la cantidad de oxígeno disuelto disponible; cuando no son neutralizadas pueden disolver algunos metales. Ésta contiene todos los componentes del mosto que han sido arrastrados por el vapor de agua así como cantidades de azúcar residual y componentes volátiles, además posee materia orgánica abundante que incluye una cantidad considerable de fenoles y sus polímeros, los cuales son difíciles de degradar biológicamente y poseen propiedades antimicrobianas y fitotóxicas que impiden el tratamiento eficiente por degradación microbiológica, especialmente aerobia.

De manera general, los constituyentes son los siguientes: (García y Rojas, 2006)

- Sustancias inorgánicas solubles en las cuales predominan los iones K, Ca y SO_4 .
- Células muertas de levadura.
- Sustancias orgánicas resultantes de los procesos metabólicos de levaduras y microorganismos contaminantes.
- Alcohol y azúcar residual.
- Sustancias orgánicas insolubles.
- Sustancias orgánicas volátiles.

La composición de la vinaza depende de las características de la materia prima usada en la producción de alcohol, en este caso melaza, del sustrato empleado en la fermentación, del tipo y eficiencia de la fermentación y destilación. (Ver tabla 3).

Tabla 3. Características físico-químicas de la vinaza

CARACTERÍSTICAS	PROMEDIOS
Temperatura °C	78,0 – 82,0
pH	3,7 – 4,5
Sólidos totales %p/p	9 – 12
DQO mg/l	80.000 – 110.000
DBO ₅ mg/l	45.000 – 50.000
Cloruros mg/l	5.000 – 6.000
Sulfatos mg/l	4.000 – 8.000
Sodio mg/l	400 - 600
Potasio mg/l	8.000 – 12.000
Nitrógeno total mg/l	1.000 – 1.200
Fósforo mg/l	200 – 300
Calcio mg/l	2.000 – 3.500

Fuente: Nimbalkar, D. Vasantdada Sugar Institute, Pune, India. 2005.

El empleo de las vinazas se ha diversificado tratando de encontrar la mejor opción garantizando la favorabilidad ambiental. La alta riqueza en minerales ha permitido llevar a cabo pruebas usando a las vinazas como complementos o enmiendas al suelo ya que cuentan con uno de los elementos fertilizantes más importantes, el potasio, en el cultivo de la caña de azúcar. A pesar de obtenerse mejoras en sus rendimientos, su uso ha estado limitado al tipo de suelo y, debido al bajo pH se limita su empleo a cantidades relativamente bajas que, comparadas con los grandes volúmenes que se producen diariamente implica la necesidad de buscar otros usos.

Tabla 4. Producción de vinazas en Ingenios Azucareros – Alcoholeros Colombianos

DESTILERÍAS	Vinaza / Alcohol	VINAZA (m ³ /año)	Sólidos totales, %
Cauca	1,35	136.230	22
Manuelita	1,00	65.700	50
Mayagüez	1,30	68.205	22
Providencia	1,20	98.160	22
Risaralda	2,40	60.000	22

Fuente: Ceñicaña, 2006

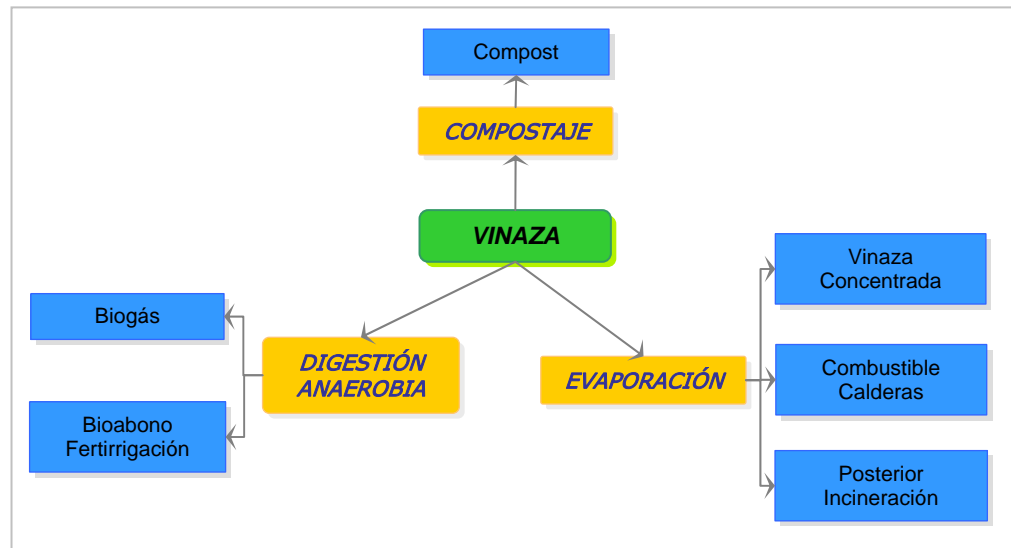
Tabla 5. Usos de la vinaza

USOS	APORTE	EFEECTO	OBSERVACIONES
Fertilización	Materia Orgánica Potasio Calcio Sulfatos Micronutrientes	<ul style="list-style-type: none"> Fomenta la reproducción de microorganismos en el suelo. Aporte de nutrientes disponibles. 	Se puede aplicar con equipos especiales o directamente con el agua de riego.
Sustrato para Compost		<ul style="list-style-type: none"> Sirve como fuente de energía y nutrientes a los microorganismos que comportan el material vegetal residual de las cosechas. 	El exceso de vinaza concentrada en la mezcla da lugar a la detención del proceso de compostaje debido al elevado DBO, que interfiere negativamente en la degradación del material vegetal
Producción de Biogás y Biosólidos		<ul style="list-style-type: none"> Al descomponerse la materia orgánica en un reactor anaerobio, se genera biogás con contenidos utilizables de CH₄, CO₂ y H₂S. Se producen biosólidos ricos en carbono, nitrógeno y azufre asimilable por las plantas. 	Se deben controlar las concentración de Acido Sulfhídrico H ₂ S, ya que produce malos olores y deteriora las tuberías de recuperación del gas.
Medio de Cultivo		<ul style="list-style-type: none"> Suplementada con Urea y Sacarosa es un excelente sustrato para promover el crecimiento de levaduras, algas del género <i>Chlorella</i>, bacterias como <i>Pseudomonas</i> y <i>Methanomonas</i> y hongos filamentosos. 	La proteína unicelular es aquella proveniente de bacterias, algas y hongos y se constituye en una importante fuente de proteínas para la alimentación humana y animal.
Suplemento Alimenticio	Proteínas Sales minerales	<ul style="list-style-type: none"> Mezcla con otros elementos para elaborar concentrados para animales. Sustituye parte de la melaza usada en el suplemento del ganado bovino, porcino y conejos. 	En bovinos dosis de potasio superiores a 1,5 kg/animal causan efectos laxantes.
Incineración	Poder Calorífico	<ul style="list-style-type: none"> Se constituye en un buen combustible para incinerar y generar energía térmica para distintas aplicaciones. 	Actualmente existen dos calderas en Tailandia operando con este combustible.
Otros	Agente plastificante de concretos reforzados, fabricación de ladrillos, materias primas para obtener sulfatos de potasio, potasa y carbonato de sodio, Acido Glutámico u Glutamina vía Fermentativa.		

Fuente: García y Rojas, 2006.

Debido a la naturaleza de la elevada carga orgánica que posee la vinaza, se ha facilitado su manejo y aprovechamiento. Además todos los componentes de la vinaza provienen de la materia prima (jugo de caña y melaza) y pueden servir de abono o alimento animal; en ella no se encuentran patógenos, ni metales pesados, ni componentes tóxicos. Los principales limitantes a su uso son su alto contenido de potasio, del orden del 6% de sus ST (Sólidos Totales), tanto para abono como para alimento animal, así como su alto contenido de sulfuros. (Conil, 2006).

Figura 8. Alternativas de tratamiento para las vinazas



Fuente: Becerra et al., 2006.

3.1 Compostaje de Vinaza

El compostaje es una técnica centenaria que aplica para residuos secos y fibrosos. No es aplicable a la vinaza líquida ni concentrada en sí, pero las vinazas pueden ser añadidas al proceso de compostaje de otros residuos (co-compostaje). La cachaza (la materia flotante que se produce en la floculación del jugo de caña) de los ingenios azucareros es un sustrato ideal para compostaje. El compostaje de la cachaza permite reducir su humedad, volumen y peso, y en consecuencia reducir sus costos de transporte y de aplicación. Por esta razón este compostaje suele justificarse económicamente, con y sin adición de vinazas. (Conil, 2006).

En la fabricación de compost, se busca mezclar la vinaza con productos remanentes del cultivo y procesamiento de la caña de azúcar, como hojas, cogollos, y cachaza, y permitir la acción de microorganismos del suelo para producir abono. El principal problema que se presenta, es el alto tiempo de residencia necesario, el cual puede alcanzar los 45 días. Esto hace que para las grandes cantidades producidas de vinaza se necesiten grandes áreas cubiertas para su compostaje. Otro problema es que parte

del proceso de compostaje lo constituye la evaporación del agua, cuya velocidad se ve favorecida por la exotermia de la reacción biológica, pero por supuesto depende en alguna medida de la humedad del aire. Es previsible que en las dos épocas de invierno en el país, el tiempo de residencia necesario se incremente. Para una capacidad instalada, esto significaría la posible reducción en la capacidad de procesamiento de vinaza con la consiguiente disminución en la producción de alcohol en dichas épocas. (Bolaños y Goyes, 2005).

La adición de vinaza al compostaje de cachaza se hace desde hace más de 20 años en el mundo, con bastante éxito. Sin embargo las cantidades añadidas son generalmente menores de 1 m³ de vinaza por tonelada de cachaza. Esta proporción no permite dar una “solución” al manejo de las vinazas pues representa una parte pequeña de la vinaza generada. Un ingenio de 5.000 t/día con destilería (60% jugo + 40% melaza) produce 150.000 L de alcohol al día y 2.000 m³ de vinazas al día, de las cuales solo 300 m³ (15%) pueden ser incorporadas al compostaje de la cachaza. (Conil, 2006).

El proceso de compostaje involucra básicamente los siguientes pasos: (Briceño, 2006)

1. Identificación, selección y formulación de los microorganismos.
2. Formación de pilas de cachaza en el campo y que se dejan de 5 a 10 días para reducir la humedad hasta alcanzar un valor al alrededor del 50%. Se transporta a la planta de compostaje donde se arregla en forma de surcos de 3 metros de ancho por 1,5 de alto.
3. Inoculación artificial de la formulación microbial e inicio de la aplicación de la vinaza para mantener la humedad entre el 50-60% hasta el día 30; a partir de esto, se inicia el proceso de maduración que puede durar entre 10 y 15 días adicionales de acuerdo con las condiciones ambientales. La humedad provee el medio para las reacciones químicas involucradas y permite el transporte de nutrientes y microorganismos.
4. Los principales nutrientes requeridos por los microorganismos son Carbono, Nitrógeno, Fósforo y Potasio. La relación óptima de Carbono – Nitrógeno se debe

mantener entre 25:1 a 30:1. Los microorganismos utilizan el Carbono para su crecimiento y como fuente de energía, mientras que el Nitrógeno es esencial para su reproducción y síntesis de proteínas.

5. Durante la aplicación de la vinaza se deben mezclar las pilas para homogeneizar la vinaza, la cachaza y el inóculo con el objeto de mantener disponible la materia orgánica para los microorganismos, proporcionar el aire requerido, remover calor, vapor de agua y gases atrapados en el material. Con una concentración mínima de oxígeno de 5% se asegura la porosidad requerida entre 450 – 500 kg/m³ y se mantiene activo el compostaje.

Tabla 6. Relación Cachaza:Vinaza usada en el compostaje

TIPO DE VINAZA	Relación CACHAZA:VINAZA
Con vinaza diluida	1:2
Con vinaza biometanización	1:2,5
Con vinaza concentrada 20%	1:2,5

Fuente: Becerra et al., 2006.

Existen diferentes diseños para el compostaje de la cachaza con vinaza:

- Piscinas de Compostaje: El compostaje se efectúa en piscinas revestidas en concreto donde la cachaza y la vinaza se disponen en relación 1:2. En estas se realiza el mezclado y el proceso se vuelve anaeróbico por lo cual toma más tiempo debido a las condiciones de operación. Este método no es usado con frecuencia.
- Compostaje en tanques: Este método requiere de vinaza concentrada antes de iniciar el proceso, por lo tanto es necesaria una alta inversión en la evaporación de la misma. La concentración de sólidos, superior al 20%, afecta la porosidad de la masa del compostaje y el contenido de humedad es deficiente debido a la naturaleza pegajosa de la vinaza, lo cual convierte el sistema en un proceso anaeróbico. Este método es raramente usado.
- Compostaje en superficie abierta: Es método más popular y de bajo costo. La cachaza se arregla en forma de surcos sobre superficies planas compactadas a las cuales se aplica vinaza. Después de esto es necesario mezclar la masa a intervalos específicos,

para homogenizar la cachaza y vinaza, lo cual mantiene la temperatura y humedad uniformes con suministro de oxígeno y aireación efectiva.

Figura 9. Planta de Compostaje, Ingenio INCAUCA S.A.



Fuente: Incauca, 2006.

El compost producido mediante ésta técnica otorga los siguientes beneficios al suelo:

- Mejora propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo
- Reduce densidad volumétrica del suelo
- Mejora la aireación y drenaje de suelos pesados
- Mejora capacidad retención de humedad de suelos livianos
- Incrementa la capacidad de intercambio y absorción de nutrientes del suelo
- Aporta nitrógeno, potasio, fósforo y otros nutrientes
- Economiza la aplicación de fertilizantes químicos
- Se pueden hacer mezclas suplementarias de fertilizantes en forma automática

3.2 Evaporación y Concentración de Vinaza

La idea de concentrar la vinaza, y en consecuencia reducir el volumen a utilizar, es bastante antigua. Los problemas que se presentaban para su realización eran la corrosión del equipo y la formación de incrustaciones. En algunos casos se tenían dudas con relación a la eficiencia térmica del sistema. Estos problemas han sido

superados por la tecnología que ha servido de base para realizar numerosos proyectos de concentradores de vinazas.

En el compostaje sólo se puede aprovechar el 15% de la vinaza generada en una planta de producción de alcohol etílico de 150.000 L/día; existen dos vías para aumentar este porcentaje: **(1)** *la recirculación de las vinazas dentro de la destilería, para reducir el volumen de descarga (pero aumentar su concentración)*. Se puede llegar a generar solo 600 m³ de vinaza por día al 17% de ST, en vez de 2.000 m³ al 5%; y **(2)** *La concentración de las vinazas por evaporación*.

Ambos sistemas son factibles, con sus ventajas y desventajas. Pueden también ser combinados. Debe de aclararse que la concentración de las vinazas por evaporación tiene un costo relativamente alto de energía, así como de químicos para el lavado periódico del sistema, y además genera otro tipo de aguas residuales (las flemazas) que deben también ser tratadas. (Conil, 2006)

La concentración de los sólidos se realiza mediante evaporación por calefacción a vapor de parte del agua contenida en la vinaza. El porcentaje de sólidos se eleva desde 5 – 8% hasta 60%. La vinaza concentrada es un jarabe que puede transportarse con más facilidad. En una etapa posterior es posible deshidratarlo completamente, mediante secado por aspersion, hasta obtener un polvo fino que conserva sus características de material orgánico; o por otro lado puede ser incinerada y recuperar potasio de sus cenizas. (Sarria y Preston, 1992), (Sheehan y Greenfield, 1980).

Tabla 7. Porcentaje de materia orgánica (M.O) y nutrientes NPK, para la vinaza concentrada a 60°Brix y vinaza seca

VINAZA	M.O (%)	N ₂ (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	Otros (%)
Concentrada 60°Brix	49,2	0,90	0,13	6,03	3,67
Seca	82,0	1,53	0,19	10,13	6,11

Fuente: Sarria y Preston, 1992.

Es conocido que el cultivo de la caña de azúcar remueve potasio del suelo, el cual se concentra en la vinaza durante la fabricación del alcohol. Por ello, la reincorporación de dicho potasio al suelo es una alternativa atractiva para usar la vinaza. La idea entonces es concentrar primero la vinaza hasta al menos 60° Brix, para ahorrar costos de transporte; además la concentración inhibe la acción de los microorganismos por lo que el producto se puede almacenar durante algún tiempo.

Teniendo en cuenta que algunos de los problemas que se pueden presentar en un sistema de evaporación convencional están relacionados con la tendencia a la formación de incrustaciones a temperaturas y concentraciones altas dando lugar a tiempos muertos que ocasionan disminución en la capacidad de producción. Para solucionar este problema, PRAJ diseñó el sistema de evaporación Flubex. El cual consiste de un evaporador que emplea partículas metálicas que se fluidizan en el interior del intercambiador y limpian las paredes de los tubos, logrando una operación continua por 45 a 60 días sin requerir limpieza; obteniéndose una vinaza al 50% de concentración de sólidos. (PRAJ Industries Ltd., 2007).

Figura 10. Evaporador Flubex para concentración de Vinaza



Fuente: Incauca, 2006.

El uso de la vinaza diluida en plantaciones de caña de azúcar presenta una serie de desventajas, tales como: (Sarría y Preston, 1992)

- Dificultad para dosificar la vinaza que es distribuida por canales o tubos; esto se traduce generalmente en baja calidad del caldo obtenido y progresiva salinización del suelo.
- Costo elevado del transporte de la vinaza diluida por carrotanques debido al número de viajes exigido por el volumen del líquido resultante.
- El empleo racional de la vinaza exige que se conozca su composición y que la cantidad que se va a aplicar pueda ser controlada. Sólo conociendo el contenido de nutrientes y controlando la cantidad que se aplica puede sustituir la vinaza a los fertilizantes químicos. Dicha sustitución puede ser integral o parcial, dependiendo de las condiciones de fertilidad del suelo y de la composición de la vinaza.

Las ventajas de producir vinaza concentrada pueden resumirse de la siguiente forma:

- La concentración de la vinaza y posterior uso en cultivos de caña, puede solucionar el problema de las aguas contaminadas.
- El proceso de concentración de la vinaza permite reutilizar el agua mediante el uso de torres de enfriamiento.
- Reduce el volumen de ésta facilitando así su transporte y distribución.
- La vinaza concentrada permite su utilización en mezclas alimenticias de forraje para ganado.

Figura 11. Fertilización de cultivos de caña con vinaza concentrada.



Fuente: Briceño, 2006.

3.3 Biometanización – Tratamiento Anaerobio de Vinaza

Debido a algunas de las características propias de la vinaza, tales como pH bajo, materias en suspensión, elevada DQO (Demanda Química de Oxígeno), se considera un residuo líquido muy agresivo que provoca serios problemas ambientales en las fuentes hídricas en las que se descarga. Para su tratamiento se han ensayado métodos fisicoquímicos, químicos y biológicos, siendo estos últimos los más apropiados por la gran cantidad de compuestos orgánicos biodegradables que presentan en su composición (Sheehan y Greenfield, 1980), (Tapas *et al.*, 2002).

Los sistemas de depuración biológica que emplean la vía anaerobia son los más recomendados para el tratamiento de residuales con altos contenidos de materia orgánica. Su empleo como primera etapa en la depuración de los efluentes de destilería constituye una alternativa atractiva para disminuir los costos totales del tratamiento. Entre las tecnologías anaerobias de avanzada que más se emplean últimamente sobresalen los reactores de manto de lodos, los reactores de lecho fluidizado y los filtros anaerobios. (Rivera *et al.*, 2002).

La metanización o degradación anaerobia de los efluentes, es una tecnología muy eficiente para remover la carga de las vinazas. Permite remover mas de 90% de su DBO, aunque solo unos 70% de su DQO, pues una parte de la DQO está en forma “dura” (no biodegradable); esta fracción es muy baja cuando la materia prima es jugo de caña, muy alta cuando es melaza o miel B; Además, esta degradación genera biogás como subproducto, el cual puede tener altas concentraciones de H₂S (componente corrosivo, tóxico y oloroso) cuando la proporción de melaza es alta en la materia prima, pues la melaza tiene altas concentraciones de sulfatos, provenientes del proceso de sulfitación del jugo, que se reducen a sulfuros en el proceso anaerobio. También puede generar olores, por escapes de biogás no captado, o por descargas del efluente con biogás disuelto. Este riesgo nuevamente es alto cuando se trata de vinaza de melaza y es mas bajo cuando se trata de vinaza de jugo de caña. (Conil, 2006).

Existen estudios preliminares de evaluación sobre el uso de los lodos anaerobios producidos a partir del tratamiento de las aguas residuales de las destilerías como “*biofertilizantes*”, encontrando una alta calidad como abono debido a sus contenidos de materia orgánica, N, P y K; sin embargo, también se han encontrado metales pesados en la vinaza y en la biomasa microbiana producida durante los tratamientos aerobio y anaerobio, lo que dificulta el manejo de la vinaza. (Bautista-Zuñiga *et al.*, 2000).

Pero la metanización “*controlada*” tiene también ventajas sustanciales para las destilerías, entre ellas: (Conil, 2006)

- Genera altas cantidades de biogás, que hoy en día tiene un mayor valor en el mercado que hace 2 años, por el incremento del precio del petróleo. El biogás puede servir para: Distribución domiciliaria / Generar vapor en una caldera de gas, y electricidad con una turbina (24 horas al día, 365 días al año) / Generar agua caliente para precalentar el agua de las calderas / Generar electricidad en motores de gas o turbinas de gas.
- Permite registrar el proyecto como MDL (Mecanismo de Desarrollo Limpio – Protocolo de Kyoto), no solo por la sustitución de energía fósil, sino por evitar la liberación de CH₄ a la atmósfera, que es uno de los principales gases de efecto invernadero. Con este registro los Ingenios pueden vender sobre el mercado internacional, y Europeo en particular, “*Certificados de Reducción de Emisiones*” de carbono (CER, o “*Bonos de Carbono*”).
- Permite disponer del efluente tratado anaeróticamente, usándolo en el compostaje de cachaza, pues en vez de aplicar una materia prima (vinaza), se está aplicando un líquido diluido que se asemeja a agua de riego. De esta manera es posible aplicar hasta 3 o 4 m³ de vinaza tratada (efluente) por tonelada de cachaza, y en ciertos casos disponer de toda la vinaza tratada sin descarga alguna a fuentes hídricas.

- Facilita los proyectos de ferti-irrigación (el efluente tratado es de aplicación más fácil que la vinaza cruda).

La combinación del efectivo tratamiento de aguas residuales industriales, la recuperación del metano y la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero, significan mucho para este tiempo; el tratamiento biológico puede ser la respuesta a los retos ambientales que se suponen ante el tratamiento de las vinazas. Para la industria azucarera – alcoholera el tratamiento vía anaerobia de las vinazas puede ser una gran fuente de energía para la misma industria, llegando a ser sostenible en sus procesos productivos. (West Stewart, 2004).

Figura 12. Digestor de Tanque Agitado (Ecomet XT)³.



Fuente: PRAJ Industries, 2007.

³ Tecnología ofrecida para el tratamiento de vinazas de destilería, por PRAJ Industries Ltd. Sistema Anaeróbico de Biometanización que usa un Biodigestor de Tanque agitado, llamado Ecomet XT. <http://www.praj.net/wastewatersystems.htm>

3.4 Comparación de las Tecnologías más usadas en el Tratamiento de Vinaza

Como resultado de la dificultad del manejo de las vinazas varias alternativas de tratamiento o reutilización se han propuesto, a continuación se presentan las ventajas y desventajas de las tecnologías expuestas anteriormente.

Tabla 8. Ventajas y desventajas de las tecnologías de tratamiento de vinazas

TECNOLOGIA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
COMPOSTAJE	<ul style="list-style-type: none"> • El compostaje es un sistema simple de tratamiento. • Necesita una baja inversión para su implementación • Presenta una generación de material orgánico que es devuelto a la naturaleza; se obtiene un producto mejorador de suelos. • Permite reducir la humedad, volumen y peso de la cachaza; además con la aplicación de la vinaza, esta puede ser tratada y re-utilizada en forma de compost. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requerimiento de transporte de material obtenido para ser aplicado en las plantaciones • Terrenos extensos para su disposición: las cantidades añadidas de vinaza al compostaje de cachaza, son muy pequeñas en consideración con las cantidades producidas de este residuo en la destilería. Por esto es necesario grandes áreas cubiertas de compostaje. • No puede operarse en temporada de lluvia debido a que al aumentar la humedad el tiempo de residencia necesario se incrementa, esto significaría una reducción en la capacidad de tratamiento de la vinaza.
EVAPORACIÓN - CONCENTRACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • Producción de un Jarabe que se puede transportar con más facilidad, puede ser deshidratada y utilizada como mejorador de suelos granulado. • La vinaza es evaporada con el fin de obtener alimento para animales, fertilizante o para su posterior incineración y recuperación de potasio. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta inversión de capital • Mayor consumo de energía, tiene un costo relativamente alto de energía.
METANIZACIÓN - DIGESTIÓN ANAEROBIA	<ul style="list-style-type: none"> • Se presenta una oportunidad de aprovechamiento de la vinaza mediante su conversión en materias primas de valor agregado y producción de energía. • Tratando las vinazas anaeróticamente se pueden generar altas cantidades de biogás, el cual puede ser usado dentro de la misma industria, utilizando así una fuente alterna de generación de energía. • El efluente obtenido después del tratamiento puede ser utilizado como biofertilizante gracias a su contenido de nutrientes. • Puede ser registrado como Mecanismo de Desarrollo Limpio, debido a la generación de energía alterna y a la no liberación del metano a la atmósfera. • Permite aumentar las dosis de aplicación de vinaza tratada anaeróticamente al compostaje de cachaza. • No hay generación de lodos en el tratamiento anaerobio. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pueden generarse olores, por escapes de biogás no captado o por descargas del efluente con biogás disuelto, si el proceso no está bien controlado. (Es necesario, entonces que el proceso sea totalmente controlado). • El arranque del sistema puede ser un poco demorado sino se utiliza un lodo microbiano adaptado al sustrato.

Fuente: Las Autoras.

4. TRATAMIENTO ANAEROBIO DE VINAZAS

El tratamiento de un residuo tan contaminante como la vinaza es muy importante para la conservación del medio ambiente, además de esto, la vinaza puede representar una oportunidad para la industria azucarera – alcoholera de aprovechamiento de sus efluentes, mediante su conversión en materias primas de valor agregado y producción de energía. Es por esto, que teniendo en cuenta las ventajas que presenta la digestión anaerobia frente a las demás tecnologías utilizadas actualmente, puede ser una alternativa apropiada para el tratamiento de estos residuos.

La digestión anaerobia es altamente aplicable para el tratamiento de vinazas, básicamente debido a las concentraciones en DQO (Demanda Química de Oxígeno) y DBO (Demanda Biológica de Oxígeno). Las ventajas conocidas del tratamiento anaerobio se incrementan cuando la DQO en el agua residual aumenta. Así es que su aplicación en vinazas está particularmente bien justificada. Además, la biomasa anaerobia puede dejarse sin alimentar por semanas y hasta meses, sin perder actividad metabólica, lo que significa ventaja única e interesante en el caso de las industrias estacionales, como son la mayoría de las destilerías. Debido a lo anteriormente expuesto, la digestión anaerobia se ha consolidado como una de las opciones más utilizadas para el tratamiento de las vinazas. Con el aumento del uso de la tecnología del tratamiento anaerobio, se espera que la industria llegue a ser más económicamente competitiva debido al uso racional de los recursos naturales. Por lo tanto, esta tecnología asegura su uso creciente en el futuro. (Bermúdez *et al.*, 2002), (Kansal *et al.*, 1998).

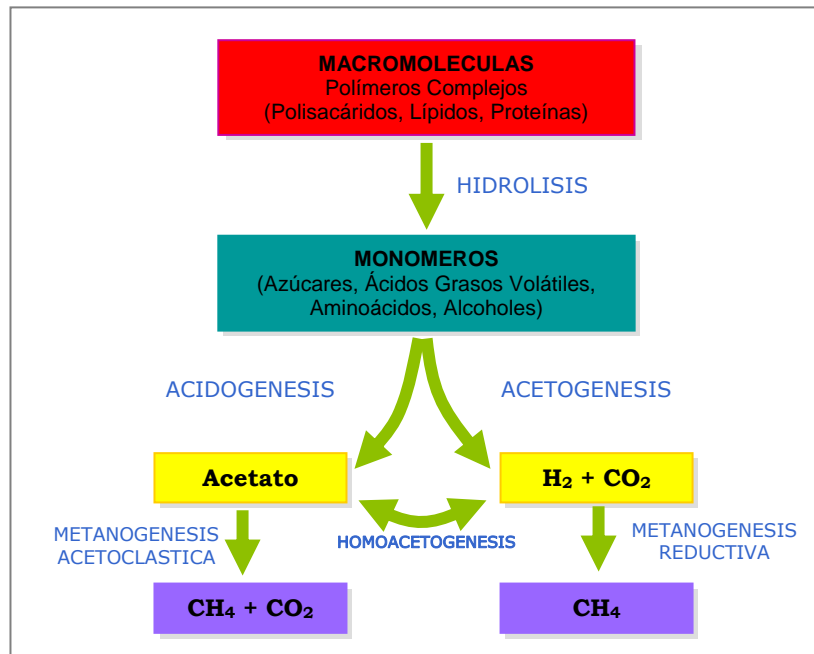
4.1 Digestión Anaerobia

La degradación o digestión anaerobia (DA) es un proceso biológico natural en el que una comunidad entrelazada de bacterias cooperan para formar una fermentación estable, autorregulada, que convierte la materia orgánica en una mezcla de metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2) (Mussati *et al.*, 1999), generando un efluente que contiene una DQO más baja y grandes cantidades de nutrientes; el cual es útil para utilizarlo como complemento o enmienda de suelos. Los residuos a tratar serán los aportantes del carbono y la energía de los procesos biológicos. El control de los procesos depende de la naturaleza de estos compuestos carbonados. En forma general, sin importar las características parametrizadas del sustrato, toda degradación anaerobia se presentará bajo las mismas etapas: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis, y metanogénesis.

La digestión anaerobia ha sido descrita como un proceso de múltiples fases o subprocesos donde se llevan a cabo un grupo de reacciones en serie y en paralelo de las cuales se han identificado siete etapas microbiológicas (Pavlostathis, 1991). (Ver figura 13).

1. Hidrólisis del material orgánico particulado (carbohidratos, proteínas y lípidos).
2. Fermentación o acidogénesis de aminoácidos y azúcares.
3. Oxidación anaerobia o acetogénesis de ácidos grasos de cadena larga y alcoholes.
4. Oxidación anaerobia o acetogénesis de productos intermedios como ácidos grasos de cadena corta (excepto el ácido acético).
5. Homoacetogénesis.
6. Metanogénesis acetoclástica.
7. Producción de metano por reducción de hidrógeno y de dióxido de carbono.

Figura 13. Etapas de la digestión anaeróbica⁴.



Fuente: Modificado de Moletta, 2005 y Becerra et al., 2006.

4.2 Ventajas del Tratamiento Anaerobio

En los últimos años, ha habido un interés cada vez mayor en la obtención de fuentes de energía alternas como resultado de la demanda creciente para la energía junto con el costo de combustibles disponibles. La rápida industrialización ha dado lugar a la generación de una gran cantidad de efluentes con alto contenido orgánico, que de ser tratados convenientemente, pueden dar lugar a una fuente perpetua de energía. La digestión anaerobia es una alternativa factible para el tratamiento de estos residuos presentando las siguientes ventajas y desventajas: (Rajeshwari *et al.*, 2000), (McCarty, 1964).

⁴ Ver ANEXO A. *Etapas de la Digestión Anaerobia* y ANEXO B. *Factores que afectan la Digestión Anaerobia*.

© **Ventajas:** (Lettinga, 1996)

- Los tratamientos anaerobios generalmente consumen poca energía. Si en algún punto se requiere energía para elevar la temperatura, ésta puede ser obtenida desde los efluentes por intercambio calorífico.
- La degradación anaerobia es un sistema productor de energía debido a que sus componentes orgánicos producen CH₄.
- La producción de lodos en los tratamientos anaerobios es considerablemente más baja que la de los métodos aerobios.
- Los sistemas anaerobios modernos pueden manejar altos contenidos de materia orgánica disuelta en el efluente a tratar.
- Un asunto muy importante en los procesos anaerobios es que los lodos anaerobios pueden ser usados aún cuando hayan transcurrido periodos de tiempo prolongados sin alimentación.
- Los costos de inversión son relativamente bajos ya que no requieren de aireadores como los sistemas aerobios. Sin embargo, el lapso de “vida” de los reactores anaerobios es relativamente menor que el de los aerobios, por lo que se busca usar materiales de construcción apropiados y prestar especial atención al mantenimiento debido a la generación de ácido sulfhídrico y ácido sulfúrico que son muy corrosivo.

© **Desventajas:**

- Alta sensibilidad de las bacterias metanogénicas a un gran número de componentes químicos. Sin embargo, en ocasiones, se pueden hacer eliminaciones selectivas previas de tal forma que el componente se presente como tóxico/inhibitorio ya no esté presente en el agua residual a tratar.
- Durante el tratamiento se pueden presentar malos olores por la formación de H₂S que en parte va al biogás y otra parte se queda disuelto en el agua residual y, posteriormente, se desorbe y/o transforma en sulfatos.

4.3 Tecnologías del Tratamiento Anaerobio

En la implementación de tecnologías para el tratamiento anaerobio de residuos líquidos como la vinaza, teniendo en cuenta su elevado valor de carga orgánica, el volumen que se generan y muchas veces por no contar con suficiente espacio disponible, resulta viable la construcción de reactores de tasa alta, principalmente UASB (“*upflow anaerobic sludge blanket*”) y filtros anaerobios (AF).

En los procesos modernos de tratamiento, denominados de alta velocidad, la característica común a todos ellos es la retención de la biomasa dentro del reactor, de manera que el tiempo de retención de los sólidos es mucho mayor que el tiempo de retención hidráulico por lo que se consigue aumentar la eficacia del proceso (Rajeshwari *et al.*, 2000).

La clasificación de los reactores anaerobios de alta velocidad, se puede hacer en función de la manera en la que retienen la biomasa⁵:

- Los que retienen la biomasa en los intersticios de un material de soporte y en la superficie del soporte, como el Filtro Anaerobio (AF).
- Los lechos de lodos UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), en los que la biomasa queda retenida por sedimentación en la parte baja del reactor en forma de gránulos o flóculos.
- Los que se basan en la inmovilización de la biomasa sobre superficies fijas como en el Reactor de lecho fijo – AFFR (Anaerobic Fixed Film), o sobre partículas móviles como en el Reactor de lecho expandido – AAFEFR (Anaerobic Attached Film Expanded Bed); los cuales utilizan soportes tales como biolita, sepiolita, carbón activado, arena, anillos raschig, vidrio, espuma de poliuretano, etc., (Balaguer *et al.*, 1997).

⁵ Ver ANEXO C. *Tipos y Características de los Reactores Anaerobios.*

Entre los sistemas de tratamiento anaerobio se pueden encontrar diferentes configuraciones de digestores anaerobios y combinaciones entre éstos con el fin de lograr una alta eficiencia en la remoción de la carga orgánica del efluente tratado; entre ellos se pueden citar: reactores del tipo UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), los cuales permiten tratar grandes cantidades de vinaza pero implican altos tiempos de retención hidráulica (*TRH*). También se han utilizado reactores de lecho fijo en los cuales la biomasa se fija en un soporte estacionario dentro del reactor y el residuo tratado pasa a través de éste, en contraparte a éste tipo de reactores están los de lecho fluidizado en el cual la biomasa también está adherida a un soporte constituido por pequeñas partículas, pero a diferencia del anterior el lecho está en constante movimiento. Además de los sistemas de tratamiento anaerobio mencionados, se pueden encontrar combinaciones tales como el reactor SCFBR (Reactor de lodos y Lecho Fijo), el cual es un reactor híbrido de flujo ascendente que combina una sección en condiciones similares a las de un UASB, seguida de una sección empacada con forma de filtro anaerobio (Mena y Serrato, 2000), o pueden utilizarse sistemas donde el tratamiento anaerobio es realizado por etapas (Blonskaja *et al.*, 2003).

Tratando de encontrar salidas sostenibles al problema de las vinazas, se han desarrollado estudios biotecnológicos utilizando diferentes procedimientos, siendo los procesos biológicos los de mayor implementación, al reunir condiciones de sostenibilidad para una industria azucarera-alcoholera, permitiendo la eliminación de varios contaminantes, aunque presentan alta sensibilidad por lo que necesitan un seguimiento y un control adecuado, pero con la ventaja de la producción de una fuente alternativa energía que puede ser utilizada dentro de la misma industria; con todo esto también es necesario tener en cuenta los impactos ambientales que la instalación y operación de este tipo de tecnología provoca.

5. EVALUACION DE IMPACTOS AMBIENTALES

El tratamiento anaerobio de Vinazas se presenta como una alternativa muy atractiva para el aprovechamiento de este tipo de residuos tan contaminantes, presentando una gran cantidad de ventajas para la industria azucarera-alcoholera; sin embargo, se hace necesaria la consideración del tipo de impactos que causaría la implementación de este tipo de tecnología, con el fin de buscar un equilibrio entre el desarrollo de esta actividad y el medio ambiente.

La identificación y evaluación de impactos ambientales permite comparar las situaciones ambientales existentes con aquellas que surgirían como resultado del desarrollo de una acción en particular. La comparación sirve para identificar tanto los impactos positivos y los beneficios ambientales que surgen de realizar el proyecto o actividad que se está evaluando, como aquellos de carácter negativo que deben manejarse para evitar la degradación del medio ambiente. Lo más significativo es que se incorporen las medidas que aseguren la protección del medio ambiente y que hagan viable la acción; si ello no es posible, esta no debe ser ejecutada. (Espinoza, 2001).

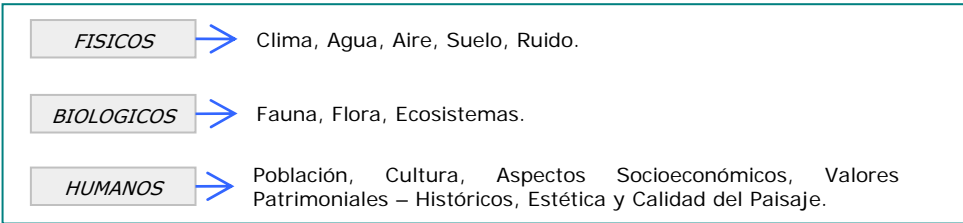
El objetivo de la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) es prevenir situaciones de deterioro, estableciendo las medidas más adecuadas para llevar a niveles aceptables los impactos derivados de acciones humanas y proteger la calidad del ambiente. Es así, que nace el concepto de desarrollo sostenible, para resaltar la necesidad de incorporar las variables ambientales en una concepción global y para postular que no puede haber progreso sólido y estable, si no existe una preocupación por la conservación ambiental. La protección ambiental no puede plantearse como un dilema frente al desarrollo, sino como uno de sus elementos básicos y fundamentales.

“Evaluación del Impacto Ambiental, simplemente definida, es el proceso de identificar las consecuencias futuras de una acción presente o propuesta”⁴

La Evaluación de Impacto Ambiental es un proceso destinado a mejorar el sistema de toma de decisiones, y está orientado a garantizar que las opciones de proyectos en consideración, sean ambiental y socialmente sostenibles. En el contexto actual, se entiende como un proceso de análisis que anticipa los futuros impactos ambientales, negativos y positivos de acciones humanas, permitiendo seleccionar las alternativas que, cumpliendo con los objetivos propuestos, maximicen los beneficios y disminuyan los impactos no deseados (García, 2004).

Cuando una acción, actividad, plan, programa o proyecto produce una alteración, favorable o desfavorable, en el medio o en alguno de los componentes del medio, se dice que hay un *“impacto ambiental”*. Según el decreto 1220 del 21 de abril de 2005, emitido por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, impacto ambiental es *“cualquier alteración en el sistema ambiental biótico, abiótico y socioeconómico, que sea adverso o beneficioso, total o parcial, que pueda ser atribuido al desarrollo de un proyecto, obra o actividad”*. Una misma acción puede producir efectos beneficiosos sobre algunos factores ambientales y perjudiciales sobre otros y, de la misma forma, un mismo elemento del medio puede ser afectado de forma favorable por una acción y desfavorable por otra.

Figura 14. Integración de sistemas físicos, biológicos y humanos en la dimensión ambiental

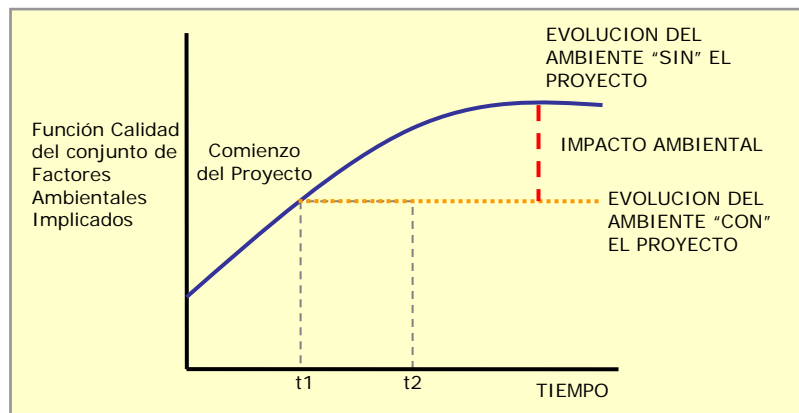


Fuente: Espinoza, 2001.

⁶ Definición adoptada por la *International Association for Impact Assessment, IAIA*

Teniendo en cuenta el medio ambiente en su conjunto, el efecto puede ser positivo, negativo o indiferente. La alteración que puede producirse, viene expresada por la diferencia entre la evolución del medio “sin” la aplicación del proyecto o actividad y “con” la ejecución de tales acciones. Es decir, un impacto ambiental, podría interpretarse como la diferencia entre el valor del medio ambiente en una situación futura generada por una actuación sobre él y el valor que dicho medio tendría igualmente en el futuro si hubiese evolucionado normalmente en ausencia de dicha actuación.

Figura 15. Concepto de impacto ambiental



Fuente: Sanz, 1991.

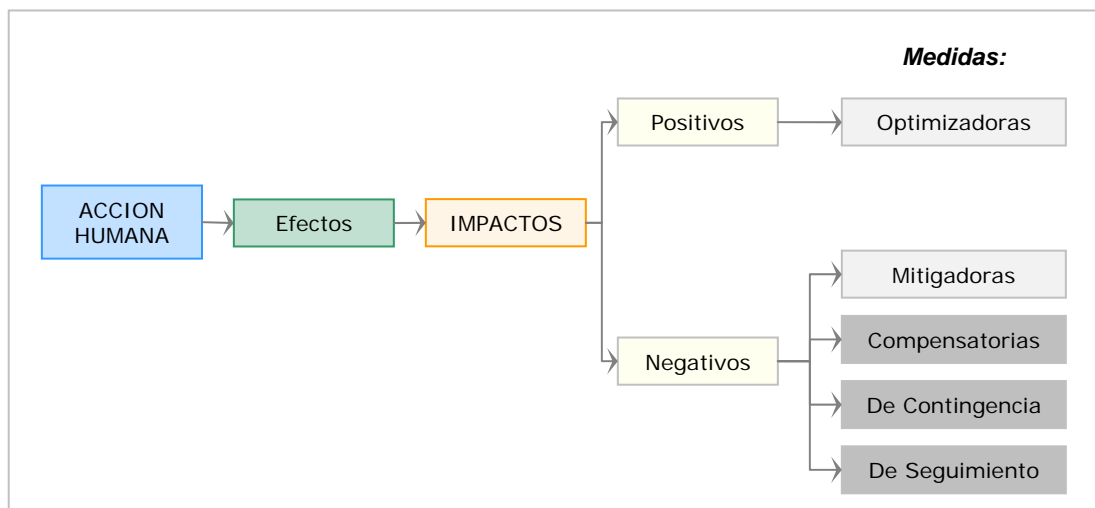
Con todo lo anterior; Impacto Ambiental, hace referencia a la alteración que la ejecución de un plan, programa, proyecto o actividad introduce en el medio, con referencia a las condiciones iniciales del sistema en el cual se implantará dicha acción. De este modo, los impactos ambientales identificados para una acción sobre un factor ambiental quedan señalados por su signo y su valor. (García, 2004).

- * El *signo* puede ser positivo o benéfico y negativo o perjudicial.
- * El *valor* es función de la magnitud del impacto y de su incidencia.
- * La *magnitud* representa la cantidad y calidad del factor modificado.
- * La *incidencia* se refiere al grado o intensidad de la alteración producida y a una serie de atributos que caracterizan dicha alteración.

Los atributos más sobresalientes son:

- ✦ La *escala*, el momento o lapso de tiempo, la reversibilidad, la persistencia, la sinergia y la posibilidad de corrección.
- ✦ El *impacto total* sobre el conjunto del entorno afectado depende de los impactos producidos sobre cada factor ambiental afectado, de la importancia y peso relativo de dichos factores así como de la interacción entre los mismos (sinergia).

Figura 16. Estructura conceptual del proceso de Evaluación de Impactos Ambientales



Fuente: Espinosa, 2001.

5.1 Metodologías para la Evaluación del Impacto Ambiental

Numerosos tipos de métodos han sido desarrollados y usados en el proceso de evaluación del impacto ambiental (EIA) de proyectos. Sin embargo, ningún tipo de método por sí sólo, puede ser usado para satisfacer la variedad y tipo de actividades que intervienen en un estudio de impacto, por lo tanto, la clave está en seleccionar adecuadamente los métodos más apropiados para las necesidades específicas de cada estudio de impacto.

Los métodos más usados, tienden a ser los más sencillos, incluyendo analogías, listas de verificación, opiniones de expertos (dictámenes profesionales), cálculos de balance de masa y matrices, etc. Aún más, los métodos de evaluación de impacto ambiental (EIA) pueden no tener aplicabilidad uniforme en todos los países debido a diferencias en su legislación, marco de procedimientos, datos de referencia, estándares ambientales y programas de administración ambiental. (García, 2004).

Las características deseables en los métodos que se adopten comprenden los siguientes aspectos:

1. Deben ser adecuados a las tareas que hay que realizar como la identificación de impactos o la comparación de opciones.
2. Ser lo suficientemente independientes de los puntos de vista personales del equipo evaluador y sus sesgos.
3. Ser económicos en términos de costes y requerimiento de datos, tiempo de aplicación, cantidad y tiempo de personal, equipo e instalaciones.

Las metodologías no proporcionan respuestas completas a todas las preguntas sobre los impactos de un posible proyecto o conjunto de alternativas, que conduzcan a un fin con solo seguir las indicaciones de su aplicación. La selección de una determinada metodología de evaluación, deberá estar en función de la actividad o proyecto concreto, de sus objetivos, de si se evalúan aspectos parciales o se considera la totalidad del proyecto o actividad.

Entre las varias metodologías generales existentes, se pueden seleccionar en función de que representan un amplio rango de opciones, las siguientes:

- ➔ Listas de chequeo
- ➔ Matriz de Leopold
- ➔ Sistema de evaluación ambiental Batelle-Columbus
- ➔ Método de transparencias
- ➔ Análisis costes-beneficios

- ➔ Modelos de simulación
- ➔ Sistemas basados en un soporte informatizado del territorio

5.1.1 Método de Leopold

Este método fue desarrollado por el Servicio Geológico del Departamento del Interior de Estados Unidos, inicialmente fue diseñado para evaluar los impactos asociados con proyectos mineros y posteriormente se ha utilizado en proyectos de construcción de obras. En éste se desarrolla una matriz con el objetivo de establecer relaciones causa-efecto de acuerdo con las características particulares de cada proyecto, a partir de dos listas de chequeo que contienen 100 posibles acciones proyectadas y 88 factores ambientales susceptibles de verse modificados por el proyecto⁷. (Leopold *et al.*, 1971).

Realmente, no es un sistema de evaluación ambiental, es esencialmente un método de identificación y puede ser usado como un método de resumen para la comunicación de resultados.

Para la utilización de la Matriz de Leopold, el primer paso consiste en la identificación de las interacciones existentes, para lo cual, se deben de tomar en cuenta todas las actividades que pueden tener lugar debido al proyecto. Se recomienda operar con una matriz reducida, excluyendo las filas y las columnas que no tienen relación con el proyecto. Posteriormente y para cada acción, se consideran todos los factores ambientales que puedan ser afectados significativamente, trazando una diagonal en las cuadrículas donde se interceptan con la acción. (García, 2004).

Cada cuadrícula marcada con una diagonal admite dos valores:

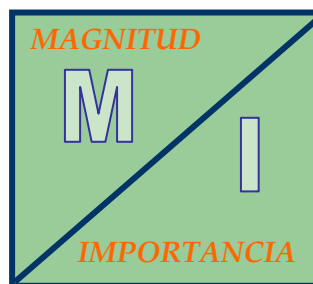
1. **Magnitud:** valoración del impacto o de la alteración potencial a ser provocada; grado, extensión o escala; se coloca en la mitad superior izquierda. Hace referencia a la

⁷ Ver ANEXO D. *Listas de factores ambientales y acciones probables propuestas por Leopold et al., 1971.*

intensidad, a la dimensión del impacto en sí mismo y se califica del 1 al 10 de menor a mayor, anteponiendo un signo (+) para los efectos positivos y (-) para los negativos.

2. **Importancia:** valor ponderal, que da el peso relativo del potencial impacto, se escribe en la mitad inferior derecha del cuadro. Hace referencia a la relevancia del impacto sobre la calidad del medio, y a la extensión o zona territorial afectada, se califica también del 1 al 10 en orden creciente de importancia.

Figura 17. Representación de la cuadrícula de la Matriz de Leopold



Fuente: Espinosa, 2001.

Una vez llenas las cuadrículas el siguiente paso consiste en evaluar o interpretar los números colocados. El texto que acompañe la matriz consistirá en la discusión de los impactos más significativos, es decir aquellos cuyas filas y columnas estén señalados con las mayores calificaciones y aquellas celdas aisladas con números superiores. Ciertas celdas pueden señalizarse, si se intuye que una condición extrema puede ocurrir, aunque su probabilidad sea baja. El enfoque matricial tiene sus limitaciones, aunque puede proveer una ayuda inicial en la configuración de los estudios necesarios y ser conveniente para efectuar un análisis preliminar entre diferentes alternativas, reducir el número de relaciones causa-efecto (impactos/celdas) a considerar y que sean preparadas una serie de matrices de acuerdo a las necesidades del estudio.

- *La matriz de Leopold es "global", ya que cubre las características geobiofísicas y socioeconómicas, además de que el método incluye características físicas, químicas y biológicas.*

- *El método no es "selectivo", no se distingue por ejemplo, entre efectos a corto y largo plazo. La propiedad de "mutuamente exclusivo" no esta preservada, ya que hay la oportunidad de contar doble, siendo este un fallo de esta matriz y no de los métodos de matriz en general.*

- *La matriz puede acomodar datos cuantitativos y cualitativos. Pero no prevé medios para discriminar entre ambos tipos de datos. Además las magnitudes de las predicciones no están relacionadas explícitamente con las situaciones "con acción" y "sin acción".*

- *La "objetividad" no es un elemento sobresaliente en la Matriz de Leopold, ya que se puede libremente efectuar la propia clasificación en la escala numérica entre el 1 y el 10 y no contempla metodología alguna para determinar la magnitud ni la importancia de un impacto.*

Tabla 9. Ventajas y desventajas del método de Leopold.

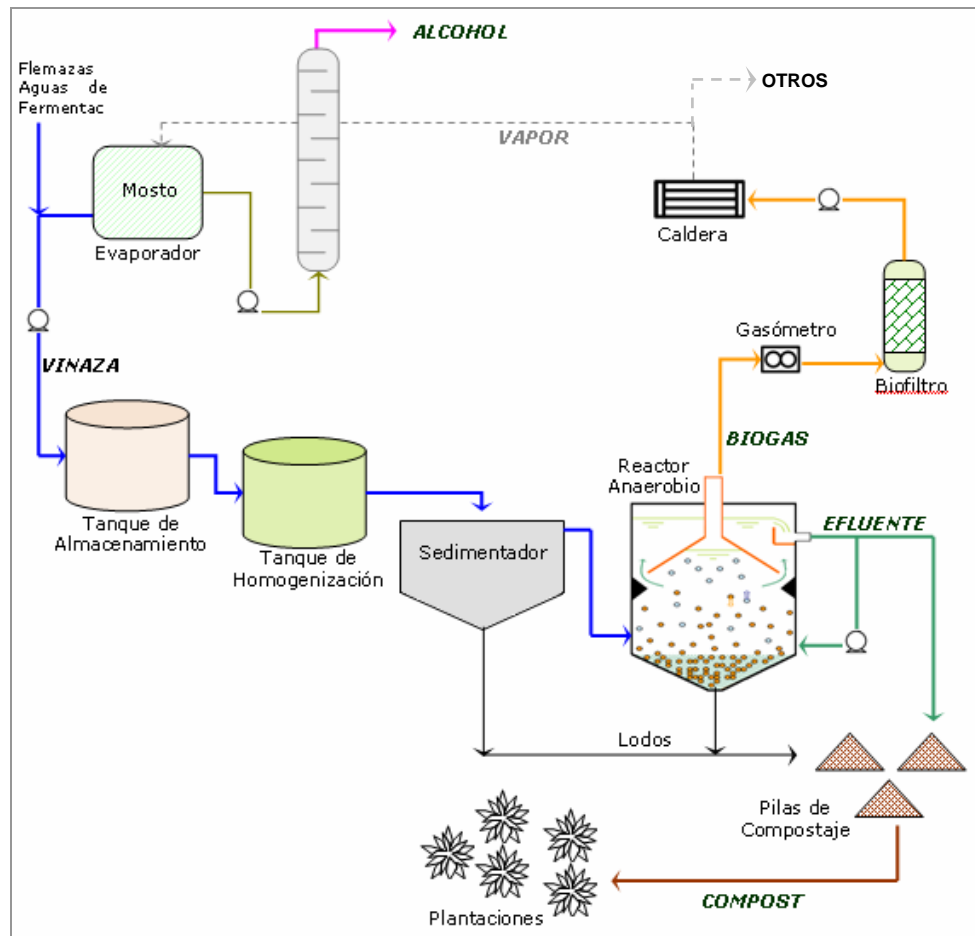
VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • Fuerza a considerar los posibles impactos de acciones proyectuales sobre diferentes factores ambientales • Incorpora la consideración de magnitud e importancia de un impacto ambiental. • Permite la comparación de alternativas, desarrollando una matriz para cada opción. • Sirve como resumen de la información contenida en el informe de impacto ambiental 	<ul style="list-style-type: none"> • Difícil reproducibilidad, debido al carácter subjetivo del proceso de evaluación, pues no contempla metodología alguna para determinar la magnitud ni la importancia de un impacto. • No tiene en consideración las interacciones entre diferentes factores ambientales. • No distingue entre efectos a corto y largo plazo, aunque pueden realizarse dos matrices según dos escalas de tiempo. • Los efectos no son exclusivos o finales, existe la posibilidad de considerar un efecto dos o más veces.

Fuente: García, 2004.

6. PLANTA DE TRATAMIENTO ANAEROBIO DE VINAZAS - PTAV

La Planta de Tratamiento Anaerobio de Vinazas para una Industria Azucarera-Alcoholera, tiene como objetivo el tratamiento de los residuos líquidos provenientes de las torres de destilación del mosto fermentado para la obtención del Alcohol Etílico, residuo altamente contaminante de color café oscuro, caracterizado por su alto contenido de materia orgánica y sales, denominado *VINAZA*, y la obtención de *BIOGÁS* (CH_4 y CO_2) producto de la degradación anaerobia, como fuente alternativa de energía para ser usado en la misma industria.

Figura 18. Esquema de la Planta de Tratamiento Anaerobio de Vinazas



Fuente: Las Autoras.

El proceso de tratamiento de la vinaza inicia cuando ésta es almacenada en un tanque en donde son recogidas las vinazas, las flemazas y aguas provenientes de los fermentadores; seguidamente el residuo pasa a un tanque homogenizador que se encarga de mezclarlo homogéneamente además de ser alcalizado con el fin de regular el pH (neutralización); después éste pasa a un sedimentador, con el fin de remover una parte de la cantidad de sólidos suspendidos que posee y luego pasa a un reactor anaerobio del tipo UASB, con el fin de degradar la materia orgánica presente y producir biogás.

Una parte del efluente tratado anaeróbicamente, es recirculado en el reactor y el restante es enviado a la zona de compostaje; el biogás producido pasa a través de un gasómetro y luego a través de un biofiltro en el cual se le remueven las trazas de Acido Sulhídrico (H_2S) que pueda contener, para poder utilizarlo en las calderas para la generación de vapor usado en la destilación.

Los lodos provenientes de las purgas del sedimentador y del reactor anaerobio son llevados hasta la zona de compostaje, donde son utilizados para la producción de compost, el cual podrá ser utilizado como mejorador de suelos en las plantaciones de caña de azúcar.

Una planta de tratamiento de aguas residuales industriales solo puede cumplir su objetivo, si se opera en forma apropiada y se efectúa un mantenimiento periódico, por medio de personal calificado. La frecuencia y la magnitud de este mantenimiento se rigen por el tipo y el tamaño de la planta. La operación y el mantenimiento, deben seguir las instrucciones entregadas por parte del diseñador o del fabricante. Estas deben ser detalladas, de fácil proceso y corresponder al sitio específico. Deben existir los equipos necesarios para efectuar el mantenimiento. El objetivo del mantenimiento es garantizar la operación y la seguridad. Deben eliminarse de inmediato las obstrucciones, la formación de nudos, sedimentaciones, fugas, y repararse los daños en las construcciones o la maquinaria. La operación y el

mantenimiento deben efectuarse de modo tal, que no presenten ningún peligro o molestias para los seres humanos, ni el ambiente.

En el arranque y operación de la planta de tratamiento se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Control de pH.
- Control de la alcalinidad.
- Control de la temperatura.
- Operación adecuada para variaciones de carga orgánica e hidráulica.
- Control en la producción de gas.
- Control de la composición del gas (CH_4 , CO_2 , H_2S).
- Control de caudal para evitar sobrecarga hidráulica.
- Control del correcto funcionamiento de los equipos de recolección y manejo de gases.
- Revisión del correcto funcionamiento de las canaletas de recolección del efluente.
- Control de olores.
- Control de lodos.

El control del proceso, especialmente durante la fase de arranque del reactor debe ser de gran importancia para garantizar altas eficiencias en la remoción de la materia orgánica. La operación es muy simple pero conceptualmente es bastante compleja.

Debe hacerse un mantenimiento periódico a todas las estructuras y equipos para la recolección y manejo de los gases generados para asegurar que se minimicen los potenciales impactos a la comunidad por clases indeseables. Debe verificarse que no existan fugas. Además, debe impedirse el uso de equipos de soldadura durante el funcionamiento del proceso por el gran riesgo de explosiones que existe.

6.1 Actividades del Proyecto

- © **Actividades relacionadas con el proyecto:** Planta de Tratamiento Anaerobio de Vinazas (PTAV).

Para el análisis de las actividades inherentes al proyecto, se ha hecho una diferenciación de las etapas que lo conforman, por una parte, la fase de preparación del sitio, obras de construcción e instalación de la maquinaria y puesta en servicio de la planta, las cuales se harán una sola vez y tendrán la mayoría de ellas un efecto temporal, ésta se denominará “etapa de construcción”; por otra parte, la fase más prolongada y que define la vida del proyecto, en la cual se realizarán las tareas que son el objeto principal de la planta y que implican la entrada de materiales, insumos y energía dando como resultado la producción de biogás (principalmente CH₄ y CO₂) que se aprovechará en las calderas para la generación de vapor o para la generación de energía eléctrica en turbinas según sean las necesidades de la planta; además se obtiene un residuo líquido (efluente de la planta) el cual puede ser utilizado en una planta de compostaje de cachaza o directamente en fertirrigación de las plantaciones de caña de azúcar, a esta fase se le identifica como “etapa de operación”.

A continuación se reseñan las actividades correspondientes para las etapas del proyecto contempladas. No se incluyen actividades eventuales de la etapa de operación como serían las de mantenimiento, arranque y paro programado puesto que serán actividades eventuales controladas no cotidianas.

Tabla 10. Identificación de las acciones del proyecto PTAV que podrían transformar el medio

ETAPA DE CONSTRUCCION	
Construcción y mantenimiento del campamento	A ₁
Localización y replanteo	A ₂
Limpieza y descapote	A ₃
Movimiento de Tierras	A ₄
Generación y Manejo de escombros	A ₅
Transporte de Materiales	A ₆

Instalaciones Eléctricas	A ₇
Instalaciones hidráulicas y sanitarias	A ₈
Construcción de drenajes	A ₉
Adecuación del Suelo	A ₁₀
Instalación de unidades de tratamiento	A ₁₁
ETAPA DE OPERACION	
Ocupación del Suelo	A ₁₂
Consumo de Energía	A ₁₃
Consumo de agua de proceso	A ₁₄
Almacenamiento de Vinazas	A ₁₅
Preparación y Homogenización de Vinazas	A ₁₆
Tratamiento Anaerobio de Vinazas	A ₁₇
Purga de Lodos de Reactor Anaerobio	A ₁₈
Purga de Lodos de Sedimentación	A ₁₉
Captación de Biogás	A ₂₀
Limpieza de Biogás para Uso en Calderas	A ₂₁
Manejo de Lodos	A ₂₂
Manejo de Efluentes	A ₂₃
Funcionamiento de Maquinaria y Equipo	A ₂₄
Control de Condiciones de Operación	A ₂₅

Fuente: Las Autoras.

6.2 Identificación de Impactos Ambientales

Teniendo en cuenta las diferentes actividades que se presentan en el proyecto en sus dos etapas, *construcción* y *operación*, y los componentes ambientales, se pueden deducir los impactos ambientales, identificando que acciones afectan a cada uno de ellos. *Se debe tener presente que un impacto ambiental es toda alteración favorable o desfavorable que produce una acción, programa o proyecto en el medio o en alguno de sus componentes.* Así, el impacto del proyecto será la diferencia entre la situación del medio ambiente futuro modificado, tal como resultaría después de la realización del proyecto y la situación del medio ambiente futuro tal como habría evolucionado normalmente sin tal actuación.

Tabla 11. Componentes ambientales afectados por las actividades del proyecto.

ACTIVIDADES DEL PROYECTO		COMPONENTES DEL AMBIENTE												
		AIRE	AGUA	SUELO	VEGETACION	FAUNA	MORFOLOGIA Y PAYSAJE	SOCIO-ECONOMICO				Salud		
		Composición Atmosférica y Presencia Olores	Niveles de Ruido	Disponibilidad del Agua	Calidad del Agua	Características Edificas	Uso del Suelo	Especies vegetales existentes	Especies animales existentes	Modificaciones en el paisaje	Actividades Comerciales y Vivienda	Empleo	Infraestructura	
A ₁	Construcción y mantenimiento del campamento	✗		✗	✗		✗	✗	✗	✗		✗	✗	✗
A ₂	Localización y replanteo							✗	✗	✗		✗	✗	✗
A ₃	Limpieza y descapote	✗		✗	✗			✗	✗	✗				✗
A ₄	Movimiento de Tierras	✗	✗	✗		✗	✗	✗	✗	✗				✗
A ₅	Generación y Manejo de escombros	✗	✗	✗			✗	✗	✗	✗			✗	✗
A ₆	Transporte de Materiales	✗	✗							✗		✗		✗
A ₇	Instalaciones Eléctricas									✗		✗	✗	
A ₈	Instalaciones hidráulicas y sanitarias	✗		✗	✗	✗		✗	✗	✗		✗	✗	✗
A ₉	Construcción de drenajes y alcantarillados	✗	✗	✗	✗		✗	✗	✗	✗		✗	✗	✗
A ₁₀	Adecuación del Terreno	✗	✗	✗	✗	✗		✗	✗	✗		✗	✗	✗
A ₁₁	Instalación de unidades de tratamiento	✗	✗				✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	
A ₁₂	Ocupación del Suelo				✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	
A ₁₃	Consumo y generación de Energía	✗	✗	✗	✗						✗	✗	✗	
A ₁₄	Consumo de agua de proceso			✗	✗							✗	✗	
A ₁₅	Almacenamiento de Vinazas	✗		✗	✗							✗	✗	✗
A ₁₆	Preparación y Homogenización de Vinazas	✗		✗	✗							✗	✗	✗
A ₁₇	Tratamiento Anaerobio de Vinazas	✗		✗	✗		✗			✗	✗	✗	✗	✗
A ₁₈	Purga de Lodos de Reactor Anaerobio	✗		✗	✗	✗						✗	✗	✗
A ₁₉	Purga de Lodos de Sedimentación	✗		✗	✗	✗						✗	✗	✗
A ₂₀	Captación de Biogás	✗										✗	✗	✗
A ₂₁	Limpieza de Biogás para Uso en Calderas	✗		✗								✗	✗	✗
A ₂₂	Manejo de Lodos	✗		✗	✗	✗					✗	✗	✗	✗
A ₂₃	Manejo de Efluentes	✗		✗	✗	✗					✗	✗	✗	✗
A ₂₄	Uso de Maquinaria y Equipo - Complementaria	✗	✗	✗								✗	✗	✗
A ₂₅	Control de Condiciones de Operación	✗	✗	✗	✗							✗		✗

Fuente: Las Autoras.

Tabla 12. Relación entre impactos y componentes ambientales.

IMPACTOS DEL PROYECTO		COMPONENTES DEL AMBIENTE												
		AIRE		AGUA		SUELO		VEGETACION	FAUNA	MORFOLOGIA Y PAISAJE	SOCIO-ECONOMICO			
		Composición de la Atmósfera	Niveles de Ruido	Disponibilidad del Agua	Calidad del Agua	Características Edáficas	Uso del Suelo	Especies vegetales existentes	Especies animales existentes	Modificaciones en el paisaje	Actividades Comerciales y Vivienda	Empleo	Infraestructura	Salud
I ₁	Inestabilidad del terreno			✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗				
I ₂	Cambios Morfológicos por Cortes y Rellenos						✗	✗	✗	✗	✗	✗		
I ₃	Cambio del uso del suelo	✗					✗	✗	✗	✗	✗	✗		
I ₄	Alteración del tipo de suelo				✗	✗	✗	✗	✗	✗				
I ₅	Alteración de la disponibilidad del agua			✗	✗	✗		✗		✗				
I ₆	Alteración de la Calidad del Agua			✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗		✗	✗	
I ₇	Alteración de los niveles de ruido y vibraciones		✗							✗			✗	
I ₈	Alteración de la composición Atmosférica	✗		✗	✗			✗	✗	✗		✗	✗	
I ₉	Presencia de olores no deseables en la planta y sus alrededores	✗			✗								✗	
I ₁₀	Incremento de material particulado por la generación de escombros	✗						✗	✗	✗			✗	
I ₁₁	Perdida y disminución de la capa vegetal del suelo			✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗			✗	
I ₁₂	Alteración del Drenaje natural del suelo			✗		✗	✗	✗	✗	✗				
I ₁₃	Alteración de las características paisajísticas naturales	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗		✗		
I ₁₄	Destrucción y alteración de hábitats	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗		✗	✗	
I ₁₅	Propagación de Enfermedades debido a vectores sanitarios	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗			✗	
I ₁₆	Aprovechamiento y Gestión Integral de Residuos Industriales	✗			✗						✗	✗	✗	
I ₁₇	Contratación de personal – Generación de Empleo	✗	✗	✗							✗	✗	✗	

Fuente: Las Autoras.

6.3 Evaluación de Impactos Ambientales

Identificados y caracterizados los impactos ambientales producto de las actividades industriales del proyecto se procede con su evaluación. Para esto se ha considerado como metodología de evaluación de impactos, el Análisis Matricial Causa-Efecto, o Matriz de Leopold, adaptándola a las condiciones de interacción entre las actividades del proceso analizado y los componentes ambientales tenidos en cuenta, permitiendo evaluar y ponderar los impactos de la actividad generados por el proyecto sobre su entorno.

En este sentido se ha elaborado una matriz de calificación de impactos ambientales que se generan producto de las operaciones de este proyecto y junto con esta una matriz que relaciona directamente los impactos identificados con las acciones contempladas para cada una de las etapas del proyecto (Construcción y Operación). Estas matrices se basan en la descripción y análisis tanto de la construcción como de la operación de la planta de tratamiento de vinazas, en las descargas de efluentes líquidos, emisiones de gases y partículas a la atmósfera, en los ruidos, subproductos generados y demás aspectos relevantes a este proyecto.

La base del sistema es una matriz en que las entradas según filas contiene las acciones del hombre que pueden alterar el medio ambiente y las entradas según columnas son características del medio (o factores ambientales) que pueden ser alterados.

Tabla 13. Matriz de Leopold para la Calificación de los Impactos Ambientales.

<i>Matriz de Leopold</i> (Magnitud/Importancia)		COMPONENTES DEL AMBIENTE												EVALUACION	
		AIRE		AGUA		SUELO		VEGETACION	FAUNA	MORFOLOGIA Y PAISAJE	SOCIO-ECONOMICO				
		Composición de la Atmósfera	Niveles de Ruido	Disponibilidad del Agua	Calidad del Agua	Características Edificas	Uso del Suelo	Especies vegetales existentes	Especies animales existentes	Modificaciones en el paisaje	Actividades Comerciales y Vivienda	Empleo	Infraestructura		Salud
A ₁	Construcción y mantenim. del campamento	-3/1		-2/2	-4/6		-7/3	-5/7	-5/7	-7/8		+5/10	-8/7	-1/2	-37/53
A ₂	Localización y replanteo							-4/2	-4/2	-7/5		+3/7	-7/3	-4/1	-23/20
A ₃	Limpieza y descapote	-5/7		-2/3	-2/3	-5/7		-7/10	-5/10	-7/10		+3/7		-1/3	-31/60
A ₄	Movimiento de Tierras	-5/8	-8/4	-4/3		-8/5	-5/9	-7/10	-6/10	-7/10				-1/2	-51/61
A ₅	Generación y Manejo de escombros	-4/9	-4/1	-3/4			-7/6	-8/7	-8/7	-9/10			-7/8	-2/3	-52/55
A ₆	Transporte de Materiales	-2/2	-3/1							-2/5		+3/5		-2/2	-6/15
A ₇	Instalaciones Eléctricas									-2/1		+2/3	-4/7		-4/11
A ₈	Instalaciones hidráulicas y sanitarias	-2/1		-3/2	-4/5	-2/3		-6/7	-6/7	-2/3		+2/3	-4/7	+2/7	-25/44
A ₉	Construcción de drenajes y alcantarillados	-2/1	-2/1		-3/5		-3/6	-4/3	-4/3	-5/4		+3/4	-4/7	+3/7	-21/41
A ₁₀	Adecuación del Suelo	-2/3	-2/1	-3/5	-4/2	-7/10	-5/10	-7/9	-7/8	-5/10	+3/5	+3/7	-5/9	-1/1	-42/80
A ₁₁	Instalación de unidades de tratamiento	-1/1	-2/1				-5/10	-7/10	-7/10	-9/10	+2/5	+1/2	-2/7		-30/56
A ₁₂	Ocupación del Suelo				-4/7	-7/5	-4/10	-7/10	-6/10	-8/10	+3/4	+3/4	-3/7		-33/64
A ₁₃	Consumo y Generación de Energía	-4/5	-1/2	-2/2	-2/3						+4/5	+4/4	-1/3		-2/24
A ₁₄	Consumo de agua de proceso			-4/7	-5/8							+1/2	-1/2		-9/19
A ₁₅	Almacenamiento de Vinazas	-2/3		-3/5	-5/10							+1/1	-2/5	-7/10	-18/34
A ₁₆	Preparación y Homogenización de Vinazas	-3/4		-2/5	-5/10							+1/2	-2/5	-7/10	-18/36
A ₁₇	Tratamiento Anaerobio de Vinazas	-9/10		-4/7	-10/10		-5/8			-8/9	+3/2	+2/2	-2/7	-9/10	-37/57
A ₁₈	Purga de Lodos de Reactor Anaerobio	-8/10		-3/5	-10/10	-5/7						+3/2	-2/4	-7/8	-34/46
A ₁₉	Purga de Lodos de Sedimentación	-7/10		-3/5	-10/10	-3/5						+3/2	-2/4	-6/8	-30/44
A ₂₀	Captación de Biogás	-6/7										+1/2	-2/4	-3/5	-10/18
A ₂₁	Limpieza de Biogás para Uso en Calderas	-6/7		-6/7								+2/2	-2/3	-3/5	-15/24
A ₂₂	Manejo de Lodos	-7/9		-5/6	-10/10	-4/6					+7/4	+1/2	-4/5	-9/10	-31/52
A ₂₃	Manejo de Efluentes	-8/9		-6/7	-9/10	-3/2					+5/7	+1/2	-4/5	-9/10	-33/52
A ₂₄	Uso de Maquinaria y Equipo - Complementaria	-3/3	-1/2	-3/5								+1/1	-1/1	-1/3	-8/15
A ₂₅	Control de Condiciones de Operación	-8/10	-8/10	-7/9	-9/10							+2/2		-7/10	-37/51
EVALUACION		-97/121	-31/33	-68/89	-96/119	-40/50	-41/62	-62/75	-58/74	-78/95	+27/32	+51/78	-71/110	-75/117	

Fuente: Las Autoras.

Tabla 14. Matriz de Interacciones entre Impactos Ambientales y Acciones del Proyecto.

PROGRAMAS DE MANEJO	IMPACTOS AMBIENTALES																					
	Inestabilidad del Terreno	Cambios Rellenos	Morfologicos por Cortes y	Cambio del Uso del Suelo	Alteración del Tipo de Suelo	Alteración en la disponibilidad del Agua	Alteración en la Calidad del Agua	Alteración en los niveles de ruido y vibraciones	Alteración de la Composición Atmosférica	Alteración en la Calidad del Aire	Alteración de la Calidad del Agua	Alteración del drenaje natural del suelo	Perdida y disminución de la capa vegetal del suelo	Incremento de material particulado por la generación de escombros	Presencia de olores no deseables en la planta y sus alrededores	Alteración de las características paisajísticas naturales	Destrucción y Alteración de Hábitats	Propagación de Enfermedades debido a vectores sanitarios	Aprovechamiento y Gestión Integral de los Residuos Industriales	Contratación de Personal – Generación de Empleo		
Programa de uso eficiente del Agua																						
Programa de Monitoreo de la Calidad del Aire																						
Programa para el manejo de la inestabilidad																						
Programa de gestión integral de residuos sólidos																						
Programa de protección de suelos																						
Programa de recuperación de la cobertura vegetal																						
Programa de manejo de fauna terrestre																						
Monitoreo de las condiciones de impacto																						
Programa para la comunicación, educación, participación comunitaria y seguridad industrial																						
Política de empleo																						
Programa de manejo de escombros y materiales sueltos																						
Lineamientos de manejo																						
Interventoría ambiental																						
Plan de contingencia																						
ACCIONES DEL PROYECTO																						
Construcción y mantenimiento del campamento		✗	✗		✗	✗		✗		✗		✗		✗		✗		✗		✗		✗
Localización y replanteo																						
Limpieza y descapote					✗	✗		✗		✗		✗		✗		✗		✗		✗		✗
Movimiento de Tierras	✗	✗	✗		✗		✗	✗		✗		✗		✗		✗		✗		✗		✗
Generación y Manejo de escombros	✗		✗		✗		✗	✗		✗		✗		✗		✗		✗		✗		✗
Transporte de Materiales								✗	✗													
Instalaciones Eléctricas																						
Instalaciones hidráulicas y sanitarias						✗	✗		✗		✗		✗		✗		✗		✗		✗	
Construcción de drenajes y alcantarillados	✗					✗	✗	✗		✗		✗		✗		✗		✗		✗		✗
Adecuación del Terreno	✗		✗	✗	✗	✗	✗	✗		✗		✗		✗		✗		✗		✗		✗
Instalación de unidades de tratamiento			✗					✗	✗				✗		✗		✗		✗		✗	
Ocupación del Suelo				✗			✗					✗	✗		✗		✗		✗		✗	
Consumo y Generación de Energía						✗	✗	✗		✗												✗
Consumo de agua de proceso						✗	✗															✗
Almacenamiento de Vinazas						✗	✗		✗	✗									✗	✗		✗
Preparación y Homogenización de Vinazas						✗	✗		✗	✗									✗	✗		✗
Tratamiento Anaerobio de Vinazas			✗			✗	✗		✗	✗									✗	✗		✗
Purga de Lodos de Reactor Anaerobio						✗	✗		✗	✗									✗			✗
Purga de Lodos de Sedimentación						✗	✗		✗	✗									✗			✗
Captación de Biogás									✗	✗										✗		✗
Limpieza de Biogás para Uso en Calderas							✗		✗	✗												✗
Manejo de Lodos					✗	✗	✗		✗	✗									✗	✗		✗
Manejo de Efluentes					✗	✗	✗		✗	✗									✗	✗		✗
Uso de Maquinaria y Equipo - Complementaria						✗		✗	✗													✗
Control de Condiciones de Operación					✗	✗	✗	✗	✗	✗									✗	✗		✗

Fuente: Las Autoras.

6.3.1 Caracterización de los Impactos

En la matriz de impactos se han identificado las acciones que pueden causar impacto sobre uno o varios factores ambientales, esto es denominado relaciones causa-efecto entre las acciones del proyecto y los componentes ambientales. A continuación se presenta la caracterización de cada uno de los impactos identificados.

		I ₁	
IMPACTO		INESTABILIDAD DEL TERRENO	
Actividad (es) del Proyecto		A ₄ A ₅ A ₉ A ₁₀	Movimiento de Tierras Generación y Manejo de escombros Construcción de drenajes y alcantarillados Adecuación del Suelo
Sistema Afectado		Físico – Biótico y Antrópico	
Componente		Suelo, Agua, Vegetación, Fauna y Socio-económico	
Descripción		La inestabilidad del terreno, disminuirá la capacidad portante de los suelos al efectuar movimientos de tierra, excavaciones, demoliciones, construcción de drenajes y alcantarillados sin utilizar herramientas y/o equipos que mantengan el suelo firme, sin perder su estructura, como una medida de mitigación se utiliza vegetación para estabilizar el terreno ya que sus raíces sirven de soporte al terreno. Se debe hacer monitoreos para verificar el estado del terreno.	
Carácter o Signo		Negativo (-)	
Tipo de Manejo		Este impacto una vez construida la planta tendrá que manejarse con medidas de control y monitoreo	
Medidas de Manejo		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Programa para el manejo de la inestabilidad ▪ Programa de protección de suelos ▪ Programa de recuperación de la cobertura vegetal ▪ Monitoreo de las condiciones de impacto ▪ Lineamientos de manejo ▪ Interventoría ambiental 	

		I ₂	
IMPACTO		CAMBIOS MORFOLÓGICOS POR CORTES Y RELLENOS	
Actividad (es) del Proyecto		A ₁ A ₄	Construcción y mantenimiento del campamento Movimiento de Tierras
Sistema Afectado		Físico – Biótico y Antrópico	
Componente		Suelo, Vegetación, Fauna, Morfología y paisaje y Socio-económico	
Descripción		Este impacto causará un deterioro del paisaje debido a los movimientos de tierra, además para realizar este tipo de trabajo es necesario primero la limpieza y el descapote para eliminar las especies arbóreas. Los cambios morfológicos del paisaje, ocurren durante la construcción de la obra por los movimientos de tierras y las obras correspondientes a la construcción y mantenimiento del campamento. El paisaje se ve afectado por la alteración de la capa vegetal debido a la remoción del suelo. Es posible que se presente inestabilidad en el terreno por el manejo inadecuado de equipos.	



<i>Carácter o Signo</i>	Negativo (-)
<i>Tipo de Manejo</i>	Este impacto deberá manejarse por medio de medidas de control y monitoreo del paisaje una vez ejecutado el proyecto.
<i>Medidas de Manejo</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Programa para el manejo de la inestabilidad ▪ Programa de protección de suelos ▪ Programa de recuperación de la cobertura vegetal ▪ Monitoreo de las condiciones de impacto ▪ Lineamientos de manejo ▪ Interventoría ambiental

I₃

<i>IMPACTO</i>	<i>CAMBIO DEL USO DEL SUELO</i>														
<i>Actividad (es) del Proyecto</i>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; text-align: center;">A₁</td> <td>Construcción y mantenimiento del campamento</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">A₄</td> <td>Movimiento de Tierras</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">A₅</td> <td>Generación y Manejo de escombros</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">A₁₀</td> <td>Adecuación del Suelo</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">A₁₁</td> <td>Instalación de unidades de tratamiento</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">A₁₂</td> <td>Ocupación del Suelo</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">A₁₇</td> <td>Tratamiento Anaerobio de Vinazas</td> </tr> </table>	A ₁	Construcción y mantenimiento del campamento	A ₄	Movimiento de Tierras	A ₅	Generación y Manejo de escombros	A ₁₀	Adecuación del Suelo	A ₁₁	Instalación de unidades de tratamiento	A ₁₂	Ocupación del Suelo	A ₁₇	Tratamiento Anaerobio de Vinazas
A ₁	Construcción y mantenimiento del campamento														
A ₄	Movimiento de Tierras														
A ₅	Generación y Manejo de escombros														
A ₁₀	Adecuación del Suelo														
A ₁₁	Instalación de unidades de tratamiento														
A ₁₂	Ocupación del Suelo														
A ₁₇	Tratamiento Anaerobio de Vinazas														
<i>Sistema Afectado</i>	Físico – Biótico y Antrópico														
<i>Componente</i>	Aire, Suelo, Vegetación, Fauna, Morfología y Paisaje, y Socio-económico.														
<i>Descripción</i>	<p>El suelo se ve alterado negativamente al ser sometido al cambio de actividad que se estaba efectuando en el predio donde se localizan las obras correspondientes a la construcción y mantenimiento del campamento, el movimiento de tierras necesario para la adecuación del terreno, dichas acciones son realizadas para la instalación de las unidades de tratamiento, el arranque y operación de la planta.</p> <p>Al cambiar el uso del uso se pueden presentar problemas de estabilidad por el manejo inadecuado de las técnicas constructivas, por lo tanto es fundamental establecer acciones para proteger el suelo, y posteriormente recuperar lo mejor posible el las características ambientales y si es posible mejorarlas.</p>														
<i>Carácter o Signo</i>	Negativo (-)														
<i>Tipo de Manejo</i>	Este impacto deberá manejarse por medio de medidas de control y monitoreo para asegurar que las modificaciones que se hagan sobre el suelo sean adecuadas y no afecten la operación del la planta.														
<i>Medidas de Manejo</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Programa para el manejo de la inestabilidad ▪ Programa de protección de suelos ▪ Programa de recuperación de la cobertura vegetal ▪ Monitoreo de las condiciones de impacto ▪ Lineamientos de manejo ▪ Interventoría ambiental 														

I₄

<i>IMPACTO</i>	<i>ALTERACIÓN DEL TIPO DE SUELO</i>								
<i>Actividad (es) del Proyecto</i>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; text-align: center;">A₃</td> <td>Limpieza y descapote</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">A₁₀</td> <td>Adecuación del Suelo</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">A₂₂</td> <td>Manejo de Lodos</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">A₂₃</td> <td>Manejo de Efluentes</td> </tr> </table>	A ₃	Limpieza y descapote	A ₁₀	Adecuación del Suelo	A ₂₂	Manejo de Lodos	A ₂₃	Manejo de Efluentes
A ₃	Limpieza y descapote								
A ₁₀	Adecuación del Suelo								
A ₂₂	Manejo de Lodos								
A ₂₃	Manejo de Efluentes								
<i>Sistema Afectado</i>	Físico – Biótico								

<i>Componente</i>	Suelo, Agua, Vegetación, Fauna, Morfología y Paisaje.
<i>Descripción</i>	Las características y composición del suelo pueden cambiar influenciadas por las actividades de adecuación del suelo, además se deben disponer adecuadamente los lodos resultantes del proceso de tratamiento de vinazas, del reactor anaerobio y del sedimentador, debido a que su vertimiento directamente, contribuiría al deterioro y cambio de sus características naturales.
<i>Carácter o Signo</i>	Negativo (-)
<i>Tipo de Manejo</i>	Este impacto deberá manejarse por medio de medidas de control y monitoreo para asegurar que las modificaciones que se hagan sobre el suelo sean adecuadas y no afecten la operación de la planta.
<i>Medidas de Manejo</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Programa para el manejo de la inestabilidad ▪ Programa de protección de suelos ▪ Programa de recuperación de la cobertura vegetal ▪ Monitoreo de las condiciones de impacto ▪ Lineamientos de manejo ▪ Interventoría ambiental

I₅

<i>IMPACTO</i>		<i>ALTERACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DEL AGUA</i>
<i>Actividad (es) del Proyecto</i>	<ul style="list-style-type: none"> A₁ A₃ A₄ A₅ A₈ A₁₀ A₁₃ A₁₄ A₁₅ A₁₆ A₁₇ A₁₈ A₁₉ A₂₁ A₂₂ A₂₃ A₂₄ A₂₅ 	<ul style="list-style-type: none"> Construcción y mantenimiento del campamento Limpieza y descapote Movimiento de Tierras Generación y Manejo de escombros Instalaciones hidráulicas y sanitarias Adecuación del Terreno Consumo y generación de energía Consumo de agua de proceso Almacenamiento de Vinaza Preparación y homogenización de vinaza Tratamiento Anaerobio de Vinazas Purga de Lodos de Reactor Anaerobio Purga de Lodos de Sedimentación Limpieza de Biogas para uso en Calderas Manejo de lodos Manejo de efluentes Uso de maquinaria y equipo - Complementarios Control de Condiciones de Operación
<i>Sistema Afectado</i>	Físico – Biótico	
<i>Componente</i>	Agua, Suelo, Vegetación y Fauna.	
<i>Descripción</i>	La disponibilidad del agua, es afectada por las diferentes acciones del proyecto en las cuales sea necesario su consumo.	
<i>Carácter o Signo</i>	Negativo (-)	
<i>Tipo de Manejo</i>	Preventivo: Puede contemplarse la reutilización de aguas dentro de la misma industria con el fin de utilizar eficientemente el recurso hídrico.	
<i>Medidas de Manejo</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Programa de uso eficiente del Agua ▪ Lineamientos de manejo ▪ Interventoría ambiental 	

I₆

IMPACTO	ALTERACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA	
<i>Actividad (es) del Proyecto</i>	A ₁ A ₃ A ₈ A ₉ A ₁₀ A ₁₂ A ₁₃ A ₁₄ A ₁₅ A ₁₆ A ₁₇ A ₁₈ A ₁₉ A ₂₂ A ₂₃ A ₂₅	Construcción y mantenimiento del campamento Limpieza y descapote Instalaciones hidráulicas y sanitarias Construcción de drenajes y alcantarillados Adecuación del Suelo Ocupación del Suelo Consumo y generación de energía Consumo de agua de proceso Almacenamiento de Vinaza Preparación y homogenización de vinaza Tratamiento Anaerobio de Vinazas Purga de Lodos de Reactor Anaerobio Purga de Lodos de Sedimentación Manejo de Lodos Manejo de Efluentes Control de Condiciones de Operación
<i>Sistema Afectado</i>	Físico – Biótico y Antrópico	
<i>Componente</i>	Agua, Suelo, Vegetación, Fauna, Morfología y Paisaje, Socio-económico.	
<i>Descripción</i>	La calidad del agua se ve afectada por la turbidez presentada por el vertimiento accidental de materiales sueltos generados en los procesos constructivos. En la etapa operativa de la planta se manejarán residuos líquidos altamente contaminantes, es necesario tener un control preciso en el almacenamiento y tratamiento de éste para evitar derrames, que causarían alteraciones irreversibles del recurso hídrico.	
<i>Carácter o Signo</i>	Negativo (-)	
<i>Tipo de Manejo</i>	Preventivo: Este impacto deberá manejarse por medio de medidas preventivas y monitoreos sobre la composición del agua.	
<i>Medidas de Manejo</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Programa de uso eficiente del Agua ▪ Monitoreo de las condiciones de impacto ▪ Lineamientos de manejo ▪ Interventoría ambiental ▪ Plan de contingencia 	

I₇

IMPACTO	ALTERACIÓN DE LOS NIVELES DE RUIDO Y VIBRACIONES	
<i>Actividad (es) del Proyecto</i>	A ₄ A ₅ A ₆ A ₉ A ₁₀ A ₁₁ A ₁₃ A ₂₄ A ₂₅	Movimiento de Tierras Generación y Manejo de escombros Transporte de Materiales Construcción de drenajes y alcantarillados Adecuación del Suelo Instalación de unidades de tratamiento Consumo de Energía Uso de Maquinaria y Equipo – Complementaria Control de Condiciones de Operación
<i>Sistema Afectado</i>	Físico – Biótico y Antrópico	
<i>Componente</i>	Aire, Fauna, Socio-económico.	
<i>Descripción</i>	Los niveles de ruidos y vibraciones pueden verse incrementados debido a algunas actividades de la etapa de construcción del proyecto, en la etapa de operación los ruidos y las vibraciones, pueden ser ocasionados por el funcionamiento de algunos equipos.	

<i>Carácter o Signo</i>	Negativo (-)
<i>Tipo de Manejo</i>	Preventivo: Este impacto deberá ser manejado con medidas preventivas, implementando el mantenimiento adecuado de los diferentes equipos, medidas de control y monitoreo de los niveles de ruido y vibraciones que puedan presentarse en los diversos sitios de la planta.
<i>Medidas de Manejo</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Programa de Monitoreo de la Calidad del Aire ▪ Monitoreo de las condiciones de impacto ▪ Lineamientos de manejo ▪ Interventoría ambiental ▪ Plan de contingencia

I₈

<i>IMPACTO</i>	<i>ALTERACIÓN DE LA COMPOSICIÓN ATMOSFÉRICA</i>	
<i>Actividad (es) del Proyecto</i>	<ul style="list-style-type: none"> A₁ A₃ A₄ A₅ A₆ A₈ A₉ A₁₀ A₁₁ A₁₃ A₁₅ A₁₆ A₁₇ A₁₈ A₁₉ A₂₀ A₂₁ A₂₂ A₂₃ A₂₄ A₂₅ 	<ul style="list-style-type: none"> Construcción y mantenimiento del campamento Limpieza y descapote Movimiento de Tierras Generación y Manejo de escombros Transporte de Materiales Instalaciones hidráulicas y sanitarias Construcción de drenajes y alcantarillados Adecuación del Suelo Instalación de unidades de tratamiento Consumo y generación de Energía Almacenamiento de Vinazas Preparación y Homogenización de Vinazas Tratamiento Anaerobio de Vinazas Purga de Lodos de Reactor Anaerobio Purga de Lodos de Sedimentación Captación de Biogás Limpieza de Biogás para Uso en Calderas Manejo de Lodos Manejo de Efluentes Uso de Maquinaria y Equipo – Complementaria Control de Condiciones de operación
<i>Sistema Afectado</i>	Físico – Biótico y Antrópico	
<i>Componente</i>	Aire, Agua, Vegetación, Fauna y Socio-económico.	
<i>Descripción</i>	La calidad del aire puede ser afectada por la operación de la planta debido al biogás (CH ₄ y CO ₂) producido durante el tratamiento anaerobio de vinazas y la limpieza de éste para remover el Acido Sulfhídrico (H ₂ S) que posee, para su posterior uso en las calderas o en turbinas. Además, se presentan emisiones gaseosas de los diferentes equipos adicionales usados en la planta.	
<i>Carácter o Signo</i>	Negativo (-)	
<i>Tipo de Manejo</i>	Preventivo: Para el manejo de este impacto ambiental se deberán tomar medidas preventivas, controlando la captación y limpieza del biogás con el fin de que no se encuentren fugas, y monitoreos de la calidad del aire en las instalaciones de la planta.	
<i>Medidas de Manejo</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Programa de Monitoreo de la Calidad del Aire ▪ Monitoreo de las condiciones de impacto ▪ Lineamientos de manejo ▪ Interventoría ambiental ▪ Plan de contingencia 	

I₉

IMPACTO	PRESENCIA DE OLORES NO DESEABLES EN LA PLANTA Y SUS ALREDEDORES	
Actividad (es) del Proyecto	A ₁₅ A ₁₆ A ₁₇ A ₁₈ A ₁₉ A ₂₀ A ₂₁ A ₂₂ A ₂₃ A ₂₅	Almacenamiento de Vinazas Preparación y Homogenización de Vinazas Tratamiento Anaerobio de Vinazas Purga de Lodos de Reactor Anaerobio Purga de Lodos de Sedimentación Captación de Biogás Limpieza de Biogás para Uso en Calderas Manejo de Lodos Manejo de Efluentes Control de Condiciones de Operación
Sistema Afectado	Físico y Antrópico	
Componente	Aire, Agua, Socio-económico.	
Descripción	La presencia de olores desagradables puede deberse a las trazas de Acido Sulfhídrico en el biogás, una vez este es obtenido en el proceso debe ser captado evitando fugas y seguidamente limpiado para remover este componente, el H ₂ S es absorbido en filtros biológicos.	
Carácter o Signo	Negativo (-)	
Tipo de Manejo	Preventivo: Es necesario tener en cuenta que no se deben presentar fugas de biogás, se deben emplear medidas de tipo preventivo para este caso y monitoreo y control de los niveles de H ₂ S en los alrededores de la planta.	
Medidas de Manejo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Programa de Monitoreo de la Calidad del Aire ▪ Monitoreo de las condiciones de impacto ▪ Lineamientos de manejo ▪ Interventoría ambiental ▪ Plan de contingencia 	

I₁₀

IMPACTO	INCREMENTO DE MATERIAL PARTICULADO POR LA GENERACIÓN DE ESCOMBROS	
Actividad (es) del Proyecto	A ₁ A ₄ A ₅ A ₉ A ₁₀	Construcción y mantenimiento del campamento Movimiento de Tierras Generación y Manejo de escombros Construcción de drenajes y alcantarillados Adecuación del terreno
Sistema Afectado	Físico-Biótico y Antrópico	
Componente	Aire, Vegetación, Fauna, Morfología y Paisaje, Socio-económico.	
Descripción	Durante las obras de adecuación del terreno, se generan enormes cantidades de escombros, éstos generan gran cantidad de material particulado afectando la calidad del aire de los alrededores. Además de esto, se ven afectadas las especies vegetales y animales, y se modifica el paisaje.	
Carácter o Signo	Negativo (-)	
Tipo de Manejo	Este tipo de impacto es manejado con obras de tipo preventivo, mitigable y correctivo	
Medidas de Manejo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Programa de Monitoreo de la Calidad del Aire ▪ Programa de manejo de escombros y materiales sueltos ▪ Lineamientos de manejo ▪ Interventoría ambiental 	

I₁₁

IMPACTO	PÉRDIDA Y DISMINUCIÓN DE LA CAPA VEGETAL DEL SUELO	
<i>Actividad (es) del Proyecto</i>	A ₁ A ₂ A ₃ A ₄ A ₅ A ₈ A ₉ A ₁₀ A ₁₁ A ₁₂	Construcción y mantenimiento del campamento Localización y replanteo Limpieza y descapote Movimiento de Tierras Generación y Manejo de escombros Instalaciones hidráulicas y sanitarias Construcción de drenajes y alcantarillados Adecuación del Suelo Instalación de unidades de tratamiento Ocupación del Suelo
<i>Sistema Afectado</i>	Físico – Biótico y Antrópico	
<i>Componente</i>	Suelo, Agua, Vegetación, Fauna, Morfología y Paisaje, Socio-económico.	
<i>Descripción</i>	En las actividades de limpieza y descapote, movimientos de tierras y demás en la adecuación de las instalaciones de la planta, es necesario remover una gran parte de la capa vegetal del suelo, en este tipo de impactos se verá afectado el suelo, se alterará su drenaje natural.	
<i>Carácter o Signo</i>	Negativo (-)	
<i>Tipo de Manejo</i>	Este impacto deberá ser manejado con obras de tipo compensatorio, mitigable, y correctivo.	
<i>Medidas de Manejo</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Programa para el manejo de la inestabilidad ▪ Programa de protección de suelos ▪ Programa de recuperación de la cobertura vegetal ▪ Monitoreo de las condiciones de impacto ▪ Programa de manejo de escombros y materiales sueltos ▪ Lineamientos de manejo ▪ Interventoría ambiental 	

I₁₂

IMPACTO	ALTERACIÓN DEL DRENAJE NATURAL DEL SUELO	
<i>Actividad (es) del Proyecto</i>	A ₃ A ₄ A ₅ A ₉ A ₁₀	Limpieza y descapote Movimiento de Tierras Generación y Manejo de escombros Construcción de drenajes y alcantarillados Adecuación del Suelo
<i>Sistema Afectado</i>	Físico – Biótico	
<i>Componente</i>	Agua, Suelo, Vegetación, Fauna, Morfología y Paisaje.	
<i>Descripción</i>	El suelo se verá afectado por las diversas acciones de la etapa de construcción de la planta, acciones como movimiento de tierras, adecuación del terreno en las cuales se modificarán las propiedades y características del suelo, además se verá afectada la vegetación y hábitats naturales existentes en el terreno. El paisaje también se verá afectado por este tipo de impacto al modificarse de su apariencia natural.	
<i>Carácter o Signo</i>	Negativo (-)	
<i>Tipo de Manejo</i>	Este impacto deberá ser manejado con obras de tipo compensatorio, mitigable y correctivo, para no causar inestabilidades en el terreno.	
<i>Medidas de Manejo</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Programa de protección de suelos ▪ Programa de recuperación de la cobertura vegetal ▪ Monitoreo de las condiciones de impacto ▪ Lineamientos de manejo ▪ Interventoría ambiental 	

IMPACTO		ALTERACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS PAISAJÍSTICAS NATURALES
<i>Actividad (es) del Proyecto</i>	A ₁ A ₃ A ₄ A ₅ A ₆ A ₇ A ₈ A ₉ A ₁₀ A ₁₁ A ₁₂	Construcción y mantenimiento del campamento Limpieza y descapote Movimiento de Tierras Generación y Manejo de escombros Transporte de Materiales Instalaciones Eléctricas Instalaciones hidráulicas y sanitarias Construcción de drenajes y alcantarillados Adecuación del Suelo Instalación de unidades de tratamiento Ocupación del Suelo
<i>Sistema Afectado</i>	Físico – Biótico y Antrópico	
<i>Componente</i>	Aire, Agua, Vegetación, Fauna, Morfología y Paisaje, Socio-económico.	
<i>Descripción</i>	El paisaje natural del lugar de instalación de la planta se verá afectado totalmente debido a los cambios irreversibles que se presentarán tanto en el suelo, vegetación, fauna y características naturales del paisaje, en las etapas tanto construcción como operación de la planta.	
<i>Carácter o Signo</i>	Negativo (-)	
<i>Tipo de Manejo</i>	Prevención, mitigación, compensación y corrección	
<i>Medidas de Manejo</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Programa de protección de suelos ▪ Programa de recuperación de la cobertura vegetal ▪ Programa de manejo de fauna terrestre ▪ Monitoreo de las condiciones de impacto ▪ Lineamientos de manejo ▪ Interventoría ambiental 	

IMPACTO		DESTRUCCIÓN Y ALTERACIÓN DE HÁBITATS
<i>Actividad (es) del Proyecto</i>	A ₁ A ₃ A ₄ A ₅ A ₈ A ₉ A ₁₀ A ₁₁ A ₁₂	Construcción y mantenimiento del campamento Limpieza y descapote Movimiento de Tierras Generación y Manejo de escombros Instalaciones hidráulicas y sanitarias Construcción de drenajes y alcantarillados Adecuación del terreno Instalación de unidades de tratamiento Ocupación del Suelo
<i>Sistema Afectado</i>	Biótico	
<i>Componente</i>	Vegetación, Fauna, Morfología y Paisaje.	
<i>Descripción</i>	Las especies animales existentes en el terreno planteado para la construcción de la planta serán desplazadas tanto por las obras de construcción como por las actividades de operación de la planta, es necesario reubicar especies endémicas que puedan encontrarse allí.	
<i>Carácter o Signo</i>	Negativo (-)	
<i>Tipo de Manejo</i>	En este impacto se deberán contemplar medidas de mitigación, compensación y corrección.	
<i>Medidas de Manejo</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Programa de protección de suelos ▪ Programa de recuperación de la cobertura vegetal ▪ Programa de manejo de fauna terrestre ▪ Lineamientos de manejo ▪ Interventoría ambiental 	

I 15

IMPACTO		PROPAGACIÓN DE ENFERMEDADES DEBIDO A VECTORES SANITARIOS	
Actividad (es) del Proyecto	A ₃ A ₁₅ A ₁₆ A ₁₇ A ₁₈ A ₁₉ A ₂₂ A ₂₃ A ₂₅	Limpieza y descapote Almacenamiento de Vinazas Preparación y Homogenización de Vinazas Tratamiento Anaerobio de Vinazas Purga de lodos de reactor anaerobio Purga de lodos de sedimentador Manejo de lodos Manejo de Efluentes Control de Condiciones de Operación	
Sistema Afectado	Físico - Biótico y Antrópico		
Componente	Agua, Vegetación, Fauna, Socio-económico.		
Descripción	Este impacto se materializará en el caso de que no se haga un correcto seguimiento y manejo de las diferentes acciones de operación que puedan generar áreas contaminadas por vinazas, efluentes y lodos, que de lugar a la aparición de vectores sanitarios.		
Carácter o Signo	Negativo (-)		
Tipo de Manejo	Este impacto se manejará con obras de tipo preventivo, de control y monitoreo de las condiciones de operación de las diferentes unidades de la planta.		
Medidas de Manejo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Programa de gestión integral de residuos sólidos ▪ Monitoreo de las condiciones de impacto ▪ Programa para la comunicación, educación, participación comunitaria y seguridad industrial ▪ Lineamientos de manejo ▪ Interventoría ambiental ▪ Plan de contingencia 		

I 16

IMPACTO		APROVECHAMIENTO Y GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS INDUSTRIALES	
Actividad (es) del Proyecto	A ₁₅ A ₁₆ A ₁₇ A ₂₀ A ₂₂ A ₂₃ A ₂₅	Almacenamiento de Vinazas Preparación y Homogenización de Vinazas Tratamiento Anaerobio de Vinazas Captación de Biogás Manejo de Lodos Manejo de Efluentes Control de condiciones de operación	
Sistema Afectado	Físico y Antrópico		
Componente	Aire, Agua y Socio-económico.		
Descripción	Este impacto es positivo tanto para el ambiente como para la industria, al ser aprovechado un residuo tan contaminante como la vinaza, así como el biogás obtenido a partir de ésta, se contribuye con el no vertimiento a fuentes de agua y atmósfera. Es decir, es benéfico para el ambiente que se realice una gestión integral de este tipo de residuos así como también para la industria quien puede sacar provecho de sus propios de residuos.		
Carácter o Signo	Positivo (+)		
Tipo de Manejo	Este impacto se manejará con medidas de control y seguimiento.		

<i>Medidas de Manejo</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Programa de gestión integral de residuos sólidos ▪ Monitoreo de las condiciones de impacto ▪ Programa para la comunicación, educación, participación comunitaria y seguridad industrial ▪ Lineamientos de manejo ▪ Interventoría ambiental ▪ Plan de contingencia
--------------------------	--

I 17

IMPACTO	CONTRATACIÓN DE PERSONAL – GENERACIÓN DE EMPLEO	
<i>Actividad (es) del Proyecto</i>	<ul style="list-style-type: none"> A₁ A₂ A₃ A₄ A₅ A₆ A₇ A₈ A₉ A₁₀ A₁₁ A₁₂ A₁₃ A₁₄ A₁₅ A₁₆ A₁₇ A₁₈ A₁₉ A₂₀ A₂₁ A₂₂ A₂₃ A₂₄ A₂₅ 	<ul style="list-style-type: none"> Construcción y mantenimiento del campamento Localización y replanteo Limpieza y descapote Movimiento de Tierras Generación y Manejo de escombros Transporte de Materiales Instalaciones Eléctricas Instalaciones hidráulicas y sanitarias Construcción de drenajes y alcantarillados Adecuación del Suelo Instalación de unidades de tratamiento Ocupación del Suelo Consumo y generación de energía Consumo de agua de proceso Almacenamiento de Vinaza Preparación y homogenización de vinaza Tratamiento Anaerobio de Vinazas Purga de Lodos de Reactor Anaerobio Purga de Lodos de Sedimentación Captación de Biogás Limpieza de Biogás para Uso en Calderas Manejo de Lodos Manejo de Efluentes Uso de maquinaria y equipos - Complementaria Control de Condiciones de Operación
<i>Sistema Afectado</i>	Antrópico	
<i>Componente</i>	Socio-económico	
<i>Descripción</i>	Este impacto presenta una influencia positiva en el ambiente específicamente en su componente socio-económico, debido a que se crearán nuevos empleos en la etapa constructiva de la planta; aunque estos disminuirán en la etapa operativa de la planta debido a la automatización del proceso.	
<i>Carácter o Signo</i>	Positivo (+)	
<i>Tipo de Manejo</i>	Este impacto se deberá manejar por medio de medidas de seguimiento.	
<i>Medidas de Manejo</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Monitoreo de las condiciones de impacto ▪ Programa para la comunicación, educación, participación comunitaria y seguridad industrial ▪ Política de empleo ▪ Lineamientos de manejo ▪ Interventoría ambiental 	

6.4 Resultados Obtenidos

La evaluación de impactos se fundamenta principalmente en el análisis y evaluación de la interrelación entre “*Componentes Ambientales y fases del proyecto más impactantes*”. A cada interrelación se asignan valores, que se califican de acuerdo a una escala de evaluación de impacto, que expresa la situación ambiental del componente. Los valores asignados están en función del deterioro ambiental que los impactos pueden llegar a producir en el ambiente.

Para la evaluación se usó el método de Leopold, el cual es útil en la identificación y valoración, y puede ser ajustado a características específicas del proyecto, arrojando resultados cuali-cuantitativos, realizando un análisis de las relaciones de causalidad entre una acción dada y sus posibles efectos en el ambiente. A través de los promedios positivos y negativos para cada fila, podemos visualizar la forma como cada acción propuesta afecta a los parámetros ambientales analizados.

Los resultados arrojados por la matriz, identifican la mayoría de las acciones realizadas en la etapa de construcción del proyecto como actividades que tienen una importancia significativa sobre los componentes ambientales analizados, estas son: *construcción y mantenimiento del campamento, limpieza y descapote, movimiento de tierras, generación y manejo de escombros, Instalaciones hidráulicas y sanitarias, construcción de drenajes y alcantarillados, adecuación del suelo e instalación de las unidades de tratamiento*, sin embargo estas actividades no son permanentes. Por otro lado, en la etapa de operación del proyecto las actividades que tendrían influencia sobre el ambiente son: *Almacenamiento, preparación y homogenización de vinazas, tratamiento anaerobio de vinazas, purga de lodos del reactor anaerobio y del sedimentador, manejo de lodos y efluentes y control de las condiciones de operación*.

Cabe destacar que actividades del proyecto tales como *captación de biogás y acondicionamiento del mismo*, presentan un impacto negativo en el ambiente debido a las emisiones de biogás – gases de efecto invernadero – que puedan ocurrir, además

de los malos olores que se pueden generar por el contenido de ácido sulfhídrico que pueda presentar. Lo anterior, no se ve reflejado en su magnitud de impacto dado que las cantidades liberadas al ambiente no serían considerables si son aplicadas medidas correctivas a esta situación; sin embargo, es importante tener en cuenta estas dos actividades por el efecto que causan en el ambiente una vez que este impacto se materialice.

Es importante resaltar que se consideró el *control de las condiciones de operación* como una actividad más del proyecto, debido a que sin un control preciso de las diferentes actividades dentro de la operación de la planta de tratamiento anaerobio de vinazas, se verían afectados diversos componentes ambientales, teniendo efectos graves en el ambiente.

Además con el análisis realizado a través de las matrices, se puede observar que los componentes ambientales más afectados por las acciones del proyecto propuestas, son: *Aire – composición atmosférica, Agua – calidad y disponibilidad del agua, Morfología y Paisaje – Modificaciones en el paisaje y Socio-Económico – Salud*; sin embargo no solamente sobresalen los impactos negativos, es así, como en el componente *Socio-Económico – Empleo y Actividades Comerciales*, se presenta un impacto positivo en la contratación de nuevo personal para la etapa de construcción y de operación de la planta.

Teniendo en cuenta los componentes y factores ambientales evaluados para las actividades e impactos identificados para este proyecto, se destaca: *Aire – composición atmosférica, Agua – calidad y disponibilidad del agua y Socio-Económicos – salud*, como los componentes mayormente afectados, debido al tipo de proyecto que se está analizando. El aire se verá afectado por el material particulado, emisiones gaseosas (gases de combustión y biogás) que se producen en el proceso, la calidad y disponibilidad del agua se verá afectada gravemente, debido a las características contaminantes que posee la vinaza y finalmente la salud tanto de los trabajadores se verá comprometida en cuanto a la generación de vectores por

contaminación del agua y en cuanto a la alteración de la calidad del aire de la zona de influencia de la planta; es por esto que es necesario tener un control cuidadoso de todas las operaciones que estén relacionadas directamente con estos componentes y factores ambientales.

Los diferentes programas de manejo señalados para los diferentes componentes, se proponen con el fin de llevar un control de los impactos ambientales identificados y el planteamiento de medidas preventivas ante las acciones que puedan llevar a la materialización de dichos impactos; en caso de que pueda evitarse su presencia, en el desarrollo de una determinada actividad asociada con el proyecto.

7. CONCLUSIONES

- ✧ La industria Azucarera-Alcoholera Colombiana, ha tenido un gran crecimiento en los últimos años, debido a la implementación del uso del alcohol carburante como combustible para los vehículos. Sin embargo esta industria, genera grandes cantidades de residuos muy contaminantes denominados “vinazas”, las cuales no deberían ser consideradas como un problema, pues surge la posibilidad de un aprovechamiento integral de las mismas. Para ello, es recomendable técnica y económicamente un tratamiento anaerobio de las vinazas (sustrato adecuado para la digestión anaerobia), obteniendo biogás como fuente alternativa de energía, que servirá de uso en la misma industria convirtiéndola en auto-sostenible. Por otro lado, se obtiene el efluente del tratamiento que puede ser aprovechado en el compostaje de cachaza o directamente en la fertirrigación en las plantaciones de caña de azúcar.

- ✧ La Digestión Anaerobia de las vinazas se presenta como una tecnología nueva a implementar en Colombia, sin embargo es de vital importancia tener en cuenta, que con esto se debe considerar primordialmente las consecuencias que puede ocasionar los residuos de los procesos utilizados, ya que muchas veces la falta de manejo de los mismos acarrea pérdidas mayores que las ganancias producidas en materia ambiental, económica y social.

- ✧ Los impactos ambientales generados en el tratamiento anaerobio de vinazas fueron identificados y evaluados en este trabajo, por medio de el método de Leopold, el cual permite identificar de manera cualitativa la magnitud e importancia de la interrelación entre los componentes involucrados y las actividades constitutivas de los procesos, sin embargo, en calidad de ser un método cualitativo se recomienda como base preliminar para un estudio de impactos ambientales, ya que está ajustado al criterio del evaluador, por lo tanto, se debería complementar

con un método cuantitativo, el cual requiere conocimientos detallados del proyecto, el terreno y los indicadores ambientales. Para el caso del proyecto se evaluó por este método, debido a que se analizó el tratamiento anaerobio de las vinazas de forma global.

- ✧ Una vez realizada la evaluación de los impactos generados por el tratamiento anaerobio de vinazas, se observó que los componentes ambientales que más se afectarían, son el aire y el agua en su calidad, éstos son de vital importancia para el desarrollo y evolución del ambiente en las etapas de operación del proyecto, por lo tanto, se debe hacer especial énfasis al elaborar planes de manejo para el establecimiento y aplicación de medidas de prevención, mitigación y corrección, con el fin de lograr la conservación y el mantenimiento del medio ambiente.

- ✧ Las actividades correspondientes a la fase de construcción y adecuación de un proyecto, son básicas para todo tipo de proceso que se realice sobre un terreno, sin embargo, a pesar de que dichas actividades sean las mas influyentes sobre el medio ambiente, tienen un carácter temporal; por lo tanto, debe tenerse especial cuidado durante esta fase; por esto, se hace necesario la implementación de programas de manejo y monitoreo de las actividades, estableciendo mecanismos para la supervisión y monitoreo de este tipo de obras, siendo esta una herramienta eficaz para evaluar el seguimiento y control ambiental, por parte de las Autoridades Ambientales.

- ✧ En el arranque y operación de la planta se hace necesario la implementación de medidas de control y seguimiento de cada una de las variables involucradas en el proceso para asegurar que éste se lleve a cabo sin ninguna alteración, dando lugar a que un impacto ambiental llegue a materializarse. Para esto, es recomendable, la implementación de diversos programas de seguimiento de las condiciones de los factores ambientales involucrados con las diferentes actividades de la fase de operación.

8. RECOMENDACIONES

En el tratamiento anaerobio de vinazas se recomienda tener en cuenta las características propias de este tipo de residuo, el cual es considerado muy agresivo debido a su corrosividad, es así, que se hace necesario tener en cuenta que esto afectaría la conducción del mismo dentro de la planta hacia las diferentes unidades de tratamiento, debe considerarse como un aspecto a tener en cuenta debido a que si se generaran fugas de este residuo se causarían impactos ambientales, en el ambiente, salud de trabajadores y de la comunidad.

Teniendo en cuenta las tecnologías aplicadas actualmente como la aplicación de la vinaza como complemento de suelos, sin ningún tratamiento previo o con solo concentración de la misma, debe considerarse el estudio del impacto ambiental generado de la aplicación de ésta en el suelo.

En este trabajo se resaltan las actividades que se presentan en la construcción y operación de una planta de tratamiento de vinazas, pero este estudio es solo una base para los aspectos e impactos ambientales que se deberían tener en cuenta en un estudio de impacto ambiental de la operación de una planta de este tipo, debido a que se deben tener en cuenta las características propias del sitio, tales como paisaje, hábitats presentes, fuentes hídricas y características del terreno en donde se va a implementar, con el fin de que todos los impactos y componentes ambientales queden cubiertos en el estudio.

9. BIBLIOGRAFIA

- ▶ ACOSTA, A. (2003). *El gran Desafío. A Propósito de Los Alcoholes Carburantes*. Cali, <http://www.amylkaracosta.com/html/01-2003.htm>.
- ▶ ASOCAÑA. (2007). Aspectos Generales del Sector Azucarero, Informe Anual. 2006 – 2007.
- ▶ BALAGUER, M.D., VICENT, M.T. y PARIS, M.A. (1997). Comparison of Different Support Materials in Anaerobic Fluidized Bed Reactors for the Treatment of Vinasse. *Env. Tech.* Vol 18: 539 – 544.
- ▶ BAUTISTA-ZUÑIGA, F. DURAN-DE-BAZUA, C. y LOZANO, R. (2000). Cambios químicos en el suelo por aplicación de materia orgánica soluble tipo vinazas. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, Universidad Autónoma de México, Mexico D.F , Vol 16, No. 003: 89-101.
- ▶ BECERRA, C., GOMEZ, D. y MARRIAGA, N. (2006). Tratamiento de Vinazas. Escuela de Ingeniería Química, Universidad del Valle, Colombia.
- ▶ BERMUDEZ, R., HOYOS, J.A. y RODRIGUEZ, S. (2000). Evaluación de la disminución de la carga orgánica contaminante de la Vinaza de destilería por tratamiento anaerobio. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, Universidad Autónoma de México, Mexico D.F , Vol 16, No. 003: 103-107.
- ▶ BLONSKAJA, V., MENERT, A., y VILU, R. (2003). Use of Two-Stage Anaerobic Treatment for Distillery Waste. *Adv. Env. Res.*, No. 7: 671 – 678.
- ▶ BOLANOS, G. y GOYES, A. (2005). Un estudio preeliminar sobre el tratamiento de vinazas en agua supercrítica. *XXIII Congreso Colombiano de Ing. Química*. Manizales, Colombia.

- ▶ BRICEÑO, C. (2006). Disposición de las vinazas producidas en las destilerías del sector azucarero colombiano. CENICAÑA. *Taller: combustibles, energía y el Medio ambiente a partir de la caña de Azúcar y otras biomásas*. Santa Lucía, Guatemala.
- ▶ CAMPUZANO, H. (2004). Se Despeja el Camino para los Alcoholes Carburantes en Colombia. CORPODIB. <http://www.corpodib.com.co>.
- ▶ CHAMY, R. y JEISON, D. (2003). Avances en Biotecnología Ambiental: Tratamiento de Residuos Líquidos y Sólidos. *Archivos de ingeniería bioquímica*, Volumen II, Ediciones Universitarias de Valparaíso, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.
- ▶ CONIL, P. (2006). Manejo de vinazas, metanización y compostaje, aplicaciones industriales. *Nota técnica - TECNICAÑA*. Colombia.
- ▶ COOAGROCAMPO. (2007). Alcohol Carburante: Situación Actual y perspectivas. Departamento Técnico. Bogotá, Colombia.
- ▶ DURAN, C., NOYOLA, A., POGGI, H. y ZEDILLO, L.E. (1991). Uso eficiente del agua y la energía en ingenios azucareros alcohólicos. UNAM, México.
- ▶ ECOPETROL • Carta petrolera - edición No. 111 (mayo - junio de 2005).
- ▶ ENRIQUEZ, M. (2005). Producción de etanol anhidro en ingenios azucareros. Ciudad de México, Octubre, en <http://www.revistavirtualpro.com> edición Diciembre de 2006.
- ▶ ESPINOZA, G. (2001). Fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental. Banco Interamericano de Desarrollo – BID. Centro de Estudios para el Desarrollo – CED. Santiago, Chile.
- ▶ FANNIN, K.F. 1987. Start-up, operation, stability, and control. En *Anaerobic digestion of biomass*. Elsevier Applied Science Ltd. New York. 171-196.

- ▶ FEDERACION NACIONAL DE BIOCOMBUSTIBLES. (2004). El ABC de los alcoholes carburantes. <http://www.minminas.gov.co>.
- ▶ GARCIA, A. y ROJAS, C. (2006). Posibilidades de Uso de la Vinaza en la Agricultura de Acuerdo con su Modo de Acción en los Suelos. *Nota técnica - TECNICAÑA*. Colombia.
- ▶ GARCIA, L. (2004). Aplicación del Análisis Multicriterio en la Evaluación de Impactos Ambientales, Tesis Doctoral. Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad de Catalunya, Barcelona, España.
- ▶ INCAUCA. El ingenio de Colombia. (2006). Proceso productivo de azúcar a partir de la caña de azúcar. Colombia. <http://www.incauca.com/> .
- ▶ JIMÉNEZ-AMBRIZ, R.M., MARTÍNEZ-GARZA, M.A., ESPINOSA-FUENTES, A., NOYOLA-ROBLES, A., DURÁN-DE-BAZÚA, C. (1995). La caña de azúcar, su entorno ambiental. Parte II. Tratamiento de vinazas en una planta piloto en México en un reactor anaerobio de lecho de lodos de flujo ascendente. *INFORME TÉCNICO DE PROYECTO VIN-02-95*. Pub. Prog. Ing. Quím. Amb. y de Quím. Amb. Facultad de Química, UNAM. México.
- ▶ KANSAL, A., RAJESHWARI, K.V., BALAKRISHNAN, M. y LATA, K. (1998). Anaerobic digestion technologies for energy recovery from industrial wastewater - a study in Indian context. *TERI Information Monitor on Environmental Science*. Vol. 3. Issue 2:67–75.
- ▶ KUGELMAN, I.J., CHIN, K.K. (1971). Toxicity synergism and antagonism in anaerobic waste treatment processes. Anaerobic biological treatment processes. *Advances in Chemistry Series, 105*. American Chemical Society. Washington D.C. EEUU.
- ▶ LAY, J.J., LI, Y.Y., NOIKE, T. (1997). Influences of pH and moisture content ion the methane production in high-solids sludge digestion. *Water Research*. Vol. 31. Issue 10: 1518-1524.

- ▶ LEOPOLD, L.B., CLARKE, F.B., HANSHAW, B.B. y BALSLEY J.R. (1971). A procedure for Evaluating Environmental Impact, Circular 645 US, *Geological Survey*, Washington D.C., Estados Unidos.
- ▶ LETTINGA, G. (1996). Sustainable integrated biological wastewater treatment. *Wat. Sci. Tech.* Vol. 33. Issue 3: 85-98.
- ▶ MANUELITA. (2007). Producción del Alcohol Carburante en Manuelita S.A. Colombia. <http://www.manuelita.com>.
- ▶ MC CARTY, P. (1964). Anaerobic waste treatment fundamentals. *Public Works*. 95:107-112.
- ▶ MENA, J. A. y SERRATO, J.C. (2000). Tratamiento Anaerobio de Vinazas en un reactor SCFBR. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Colombia, Santa Fé de Bogotá D.C.
- ▶ Ministerio de Minas y Energía. *Ley 693 de 2001*.
- ▶ MOLETTA, R. (2005). Winery and distillery wastewater treatment by anaerobic digestion. *Water Science and Technology* Vol 51. Issue 1: 137–144.
- ▶ MONTOYA, M.A., QUINTERO, J.A., SANCHEZ, O.J. y CARDONA, C.A. (2006). Evaluación del impacto ambiental del proceso de obtención de alcohol carburante utilizando el algoritmo de reducción de residuos. *Revista Facultad de Ingeniería*, Universidad de Antioquia, No 36: 85-95.
- ▶ MUSSATI, M., AGUIRRE, P. y SCENNA, N. (1999). Modelado, simulación y optimización de procesos químicos. Capítulo XVIII: Modelado del proceso de digestión anaerobia en reactores simples. Editor: Nicolás J. Scenna; Universidad Tecnológica Nacional-CONICET. Santa Fé, Argentina.

- ▶ NOONE, G.P. (1990). The treatment of domestic wastes. En *Anaerobic digestion: a waste treatment technology*. Editado por Wheatley, A. *Critical Reports on Applied Chemistry*. Vol 31: 139-170.
- ▶ PAVLOSTATHIS, S.G y GIRALDO, E. (1991). Kinetics of anaerobic treatment. *Water Science and Technology*. Vol. 24: 35-59.
- ▶ PRAJ INDUSTRIES LTD. (2007). Wastewater treatment solutions for distilleries. <http://www.praj.net/wastewatersystems.htm> .
- ▶ QUINTERO, R., CADENA, S. y BRICEÑO, C. (2006). Proyectos de Investigación sobre uso y manejo de Vinazas. CENICAÑA.
- ▶ RAJESHWARI, K.V., BALAKRISHNAN, M., KANSAL, K. y LATA, K. (2000). State-of-the-art of anaerobic digestion technology for industrial wastewater treatment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 4: 135-156.
- ▶ RIVERA, A., GONZALEZ, J., CASTRO, R., GUERRERO, B y NIEVES, G. (2002). Tratamiento de Efluentes de Destilería en un Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, Universidad Autónoma de México, Mexico D.F , Vol 18, No. 003: 131-137.
- ▶ SANZ, L. (1991). Concepto de Impacto Ambiental y su Evaluación. En: Evaluación y Corrección de Impactos Ambientales, Instituto Tecnológico Geominero de España, Madrid, España.
- ▶ SARRIA, P. y PRESTON, T. (1992). Reemplazo parcial del jugo de caña con vinaza y uso del grano de soya a cambio de torta en dietas de cerdos de engorde. *Livestock Research for Rural Development*. Vol. 4, No. 1. <http://www.fao.org/ag/aga/AGAP/FRG/lrrd/lrrd4/1/cont41.htm>.
- ▶ SHEEHAN G. y GREENFIELD P. (1980). Utilization, treatment and disposal of distillery wastewater. *Wat. Res.*14, pp. 257-277.

- ▶ SPEECE, R.E. (1987). “Nutrient Requirements”, en *Anaerobic Digestion of biomass*. Editado por Chynowth D. Y., Isaacson, R. Elsevier *Applied Science*. Amsterdam, Holanda.
- ▶ TAPAS, N., SHASTRY, S. y KAUL, S.N. (2002). Wastewater management in a cane molasses distillery involving bioresource recovery. *Journal of Environmental Management*. Vol. 65: 25-38.
- ▶ VALDES, A., LOPEZ, P. y PINO, J.I., (1997). Combustibles y Energías Renovables a partir de la Biomasa Azucarera. Ministerio de Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente. *Reunión Regional sobre Biomasa para la Producción de Energía y Alimentos*, Cuba, <http://www.fao.org/docrep/006/AD098S/AD098S00.HTM>.
- ▶ WEST STEWART, S. (2004). Co-Generation Opportunities Utilizing Sugar Industry Wastewater Through the Use of Biological Treatment Systems. *Electricity Supply Industry in Transition: Issues and Prospect for Asia*. Vol 14, Issue 16: 46-51.
- ▶ WILKIE, A. (2005). Anaerobic Digestion: Biology and Benefits. *Dairy Manure Management: Treatment, Handling, and Community Relations*. NRAES-176: 63-72.
- ▶ YANG, Y., SHI, L. (2000). Integrating environmental impact minimization into conceptual chemical process design: a process systems engineering review”. En: *Computers and Chemical Engineering*. Vol. 24: 1409-1419.
- ▶ ZUCARMEX. (2007). Proceso de Producción del Azúcar. México. <http://www.zucarmex.com/Proceso.htm>

ANEXOS

Anexo A. Etapas de la Digestión Anaerobia

1. **Hidrólisis.** La materia orgánica polimérica no puede ser utilizada directamente por los microorganismos a menos que se hidrolicen en compuestos solubles, que puedan atravesar la membrana celular. La hidrólisis es, por tanto, el primer paso necesario para la degradación anaerobia de sustratos orgánicos complejos. Esta etapa incluye dos procesos, la solubilización del material particulado insoluble y la descomposición biológica de polímeros orgánicos a monómeros o dímeros, los cuales pasan a través de la membrana celular. La etapa hidrolítica puede ser la etapa limitante de la velocidad del proceso global, si el sustrato cuenta con alto contenido en sólidos.
2. **Acidogénesis.** La acidogénesis es la etapa en donde la materia orgánica disuelta es biodegradada a ácidos grasos volátiles tales como ácido acético, propiónico, butírico, además de hidrógeno, dióxido de carbono y alcoholes por una población bacteriana heterogénea. En esta etapa se encuentran las bacterias acidogénicas consideradas de crecimiento rápido y la reacción preferida por estas es la que conduce a ácido acético. (Mussati et al. 1999).
3. **Acetogénesis.** En general existen dos mecanismos diferentes para esta etapa; la acetogénesis de hidrogenación que produce ácido acético como un solo producto final de la fermentación de hexosa o de CO_2 y H_2 , y la acetogénesis de deshidrogenación que es la que normalmente reportan los investigadores. Esta convierte los ácidos grasos de cadena corta y de cadena larga a ácido acético por un grupo de bacterias acetogénicas. Las reacciones que producen son muy complejas energéticamente y se interrumpen fácilmente por acumulación de gas hidrógeno disuelto en el medio. La eliminación continua de H_2 mediante oxidación

por CO_2 (bacterias metanogénicas hidrogenotróficas) estimula la acción de las bacterias fermentativas, al eliminar un producto de la reacción.

4. **Metanogénesis.** Los microorganismos metanogénicos pueden ser considerados como los más importantes dentro del consorcio de microorganismos anaerobios, ya que son los responsables de la formación de metano y de la eliminación de los productos de etapas anteriores, siendo además, los que dan nombre al proceso general de biometanización.

Las bacterias metanogénicas son las responsables de la formación de metano a partir de sustratos monocarbonados o con dos átomos de carbono unidos por un enlace covalente: acetato, H_2 , CO_2 , metanol y algunas metilaminas. Existen dos grandes grupos de bacterias metanogénicas, las denominadas acetoclásticas y las que utilizan el hidrógeno (hidrogenotróficas). Las bacterias acetoclásticas convierten el ácido acético en dióxido de carbono y metano, estas se desarrollan muy lentamente e influyen apreciablemente en el pH del sistema por eliminación de ácido acético y formación de dióxido de carbono.

Las bacterias metanogénicas que utilizan hidrógeno (hidrogenotróficas) se desarrollan rápidamente, estas actúan convirtiendo el hidrógeno y el dióxido de carbono a metano. Estas controlan el potencial redox del proceso, las trazas de hidrógeno que quedan en el medio regulan la velocidad total de producción de ácidos por las bacterias acidogénicas y la composición de la mezcla formada. El hidrógeno también controla la velocidad a la cual los ácidos propiónico y butírico son convertidos a ácido acético; en definitiva, regulan la formación de ácidos volátiles.

Anexo B. Factores que influyen en la Digestión Anaerobia

La digestión anaerobia al igual que cualquier proceso biológico es susceptible a un cierto número de factores que pueden alterar la estabilidad y la eficiencia del mismo, los más importantes se presentan a continuación.

- ★ **Agitación.** La agitación de los reactores anaerobios tiene diversos objetivos, que se resumen en los siguientes puntos (Noone, 1990):
 - Poner en contacto el sustrato fresco o influente con la población bacteriana, y eliminar los metabolitos producidos por los metanogénicos, al favorecer la salida de los gases; proporcionar una densidad uniforme de población bacteriana; prevenir la formación de capa superficial y de espumas, así como la sedimentación en el reactor.
 - Prevenir la formación de espacios muertos que reducirían el volumen efectivo del reactor, y la formación de caminos preferenciales en función de la hidráulica del sistema.
 - Eliminar la estratificación térmica, manteniendo una temperatura uniforme en todo el reactor.

- ★ **Contenido de Nutrientes.** El proceso anaerobio se caracteriza, frente a procesos aerobios, por los bajos requerimientos de nutrientes, debido fundamentalmente a los bajos índices de producción de biomasa. A pesar de ello, la biomasa necesita para su desarrollo el suministro de una serie de nutrientes minerales, además de una fuente de carbono y de energía. Los principales nutrientes del sistema anaerobio son nitrógeno, sulfuro, fósforo, hierro, cobalto, níquel, molibdeno, selenio, riboflavina y vitamina B12. (Speece, 1987).

- ★ **pH.** Los microorganismos anaerobios necesitan un pH en torno a la neutralidad para su correcto desarrollo, aunque permiten cierta oscilación. El pH debe estar en

torno a la neutralidad, presentando problemas graves si el pH baja por debajo de 6 o sube por encima de 8,3 (Lay et al., 1997). Sin embargo, el proceso de inhibición parece ser completamente reversible, aunque el tiempo de recuperación depende de la duración de la alteración.

El pH es también una importante variable de diagnóstico de los sistemas anaerobios, pues muchos fenómenos tienen influencia sobre el mismo. Ejemplos clásicos son las sobrecargas orgánicas, o la presencia de un inhibidor de la etapa metanogénica, que pueden provocar desequilibrios entre la producción y el consumo de ácidos grasos volátiles, produciendo la acumulación de éstos y el consiguiente descenso del pH, produciéndose la acidificación del reactor.

- ★ **Temperatura.** El proceso anaerobio se produce en la naturaleza en un amplio rango de temperaturas, que van desde 0° a 97°C. La eficiencia del proceso, no obstante, es muy diferente en función de la temperatura del medio. Se habla de tres rangos principales de temperatura, psicrófilico (por debajo de 25°C), mesófilico (entre 25 y 45°C) y termófilico (entre 45°C y 65°C), siendo la tasa máxima específica de crecimiento mayor conforme aumenta la temperatura (Wilkie, 2005). La velocidad del proceso aumenta con la temperatura, aunque también aumentan los requerimientos energéticos, y puede disminuir la estabilidad del proceso (Fannin, 1987), al menos en presencia de determinados tóxicos.

- ★ **Tóxicos e inhibidores.** Estos son elementos principalmente de naturaleza química que pueden inhibir o disminuir sustancialmente la actividad bacteriana, afectando directamente la eficiencia global del proceso. La magnitud de toxicidad observada es una función de diversos factores, incluyendo concentración, antagonismos, sinergismos, formación de complejos y aclimatación (Kugelman y Chin, 1971).

Anexo C. Tipos y Características de los Reactores Anaerobios

En los últimos años se ha progresado mucho en el conocimiento del proceso anaerobio en el tratamiento de residuos líquidos, especialmente utilizando filtros anaerobios (AF), Reactores de Lecho Fluidizado (AFBR) y Lecho Fijo (AFFBR) y reactores anaerobios de lecho de lodos con flujo ascendente UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket).

Los procesos modernos de tratamiento están basados en el concepto de retención de la biomasa dentro del reactor por medio de la inmovilización de las bacterias. Esto es logrado por uno de los siguientes métodos: (Rajeshwari *et al.*, 2000).

- Formación de un lodo granulado altamente sedimentable, combinado con una separación entre el gas generado y el lodo producido, como por ejemplo en un reactor tipo UASB.
- Adhesión de los microorganismos en un soporte particulado con alta densidad, como por ejemplo en los reactores de Lecho Fijo, Fluidizado y Expandido (Reactores de biopelícula o biofilm).
- Fijación de los agregados microbianos del lodo entre un material empacado fijamente en el reactor, como por ejemplo en los Filtros Anaerobios.

1. Reactores de Lecho Fijo (AFFBR – Anaerobic Fixed Film Bed Reactor)

El reactor de lecho fijo, son similares a los filtros anaerobios solo que los primeros se encuentran inundados de líquido. Este tipo de reactor esta constituido por un tanque o columna relleno con un medio sólido para soporte del crecimiento biológico anaerobio, el cual puede ser carbón activado, PVC, anillos cerámicos, zeolita, etc. El residuo líquido es alimentado generalmente en forma vertical en sentido ascendente o descendente, a través del lecho empacado sobre el cual el biofilm se desarrolla. Este

tipo de reactores ofrecen simplicidad de construcción, mejor estabilidad ante elevadas cargas orgánicas, soporte de choques de compuestos tóxicos y cargas orgánicas variables. (Rajeshwari et al., 2000).

El residuo líquido a tratar es puesto en contacto con el crecimiento bacteriano anaerobio adherido al medio y como las bacterias son retenidas sobre el medio y no salen en el efluente, es posible obtener tiempos de retención celular altos con tiempos de retención hidráulica cortos. El proceso no utiliza recirculación ni calentamiento y produce una cantidad mínima de lodos. La mayor parte de biomasa se acumula en los vacíos intersticiales existentes entre el medio de soporte.

Tabla 1C. Ventajas y desventajas del Reactor de Lecho Fijo.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • Soporta altas cargas orgánicas. • Opera a bajos TRH (Tiempo de Retención Hidráulica) • Construcción simple. • Aplicable a pequeña y mediana escala. • Rápidos re-arranques. • Operación simple. • Operación con flujo descendente o ascendente. • Reactores de volumen más pequeño debido a la elevada carga volumétrica ($\text{kg/m}^3\text{d}$). • Operación relativamente estable bajo condiciones variables de alimentación y shocks tóxicos. • No necesita agitación mecánica. • El biogás y la recirculación aseguran una temperatura, pH y concentraciones de sustrato uniforme en el reactor. • La necesidad de espacio es relativamente pequeña. 	<ul style="list-style-type: none"> • Arranque lento, aún contando con inóculo adecuado (formar biofilm). • Riesgo de taponamiento por efluentes con alto contenido de sólidos. • Sensible a aguas que forman precipitados (sobre todo en régimen de flujo ascendente). • Alto costo de material de soporte. • Presencia de sólidos suspendidos en el efluente. • Tiene que llevar algún sistema para quitar biomasa periódicamente. • El relativamente bajo TRH reduce la capacidad de homogeneizar los cambios bruscos de la alimentación. • Los costes del material de relleno son altos.

Fuente: Adaptado de Rajeshwari et al, 2000.

2. Reactores UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)

Este tipo de reactor ha sido usado extensamente para el tratamiento de diversos efluentes, tales como vinazas de destilería, efluentes de procesamiento de alimentos y aguas residuales municipales. La operación de los reactores UASB se basa en la actividad autoregulada de diferentes grupos de bacterias que degradan la materia orgánica y se desarrollan en forma interactiva, formando un lodo biológicamente

activo en el reactor. Dichos grupos bacterianos establecen entre sí relaciones simbióticas de alta eficiencia metabólica bajo la forma de gránulos cuya densidad les permite sedimentar en el digester. La biomasa permanece en el reactor sin necesidad de soporte adicional. Este reactor opera con pequeños tiempos de retención hidráulica (TRH), permitiendo tratar grandes volúmenes de residuo (Rajeshwari et al., 2000), (West-Stewart, 2004).

Tabla 2C. Ventajas y desventajas del Reactor UASB.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • Soporta altas cargas orgánicas. • Opera a bajos TRH (Tiempo de Retención Hidráulica). • No requiere medio de soporte para los microorganismos. • Presenta bajos requerimientos de energía. • Con el inóculo apropiado puede arrancar de forma inmediata. • Aplicable a pequeña y mediana escala. • Operación simple. 	<ul style="list-style-type: none"> • Granulación lenta, no necesariamente controlable. • Sensible a aguas que forman precipitados (llenan el fondo del reactor y el lecho sube). • Riesgo de flotación de los gránulos durante el arranque (los gránulos varían de densidad).

Fuente: Adaptado de Kansal et al., 1998.

Una modificación del UASB es el EGSB (Expanded Granular Sludge Bed), en el que sólo se puede usar lodo granular debido a las elevadas velocidades superficiales a las que opera, superiores a 4 m/h. Estas velocidades se consiguen por recirculación del efluente o aumentando la relación altura/diámetro en el reactor. Este diseño se está utilizando para el tratamiento de efluentes de baja carga incluso a temperaturas inferiores a 10°C. También parece un sistema adecuado para tratar sustratos tóxicos (Lettinga, 1996).

3. Reactores de Lecho Móvil Fluidizado/Expandido (AFBR – Anaerobic Fluidized/Expanded Bed Reactor)

Este tipo de reactores poseen un medio granular que es mantenido en suspensión, como resultado de la resistencia a la fricción del flujo ascendente del residuo líquido, el continuo movimiento del soporte hace que se favorezca el contacto entre el residuo

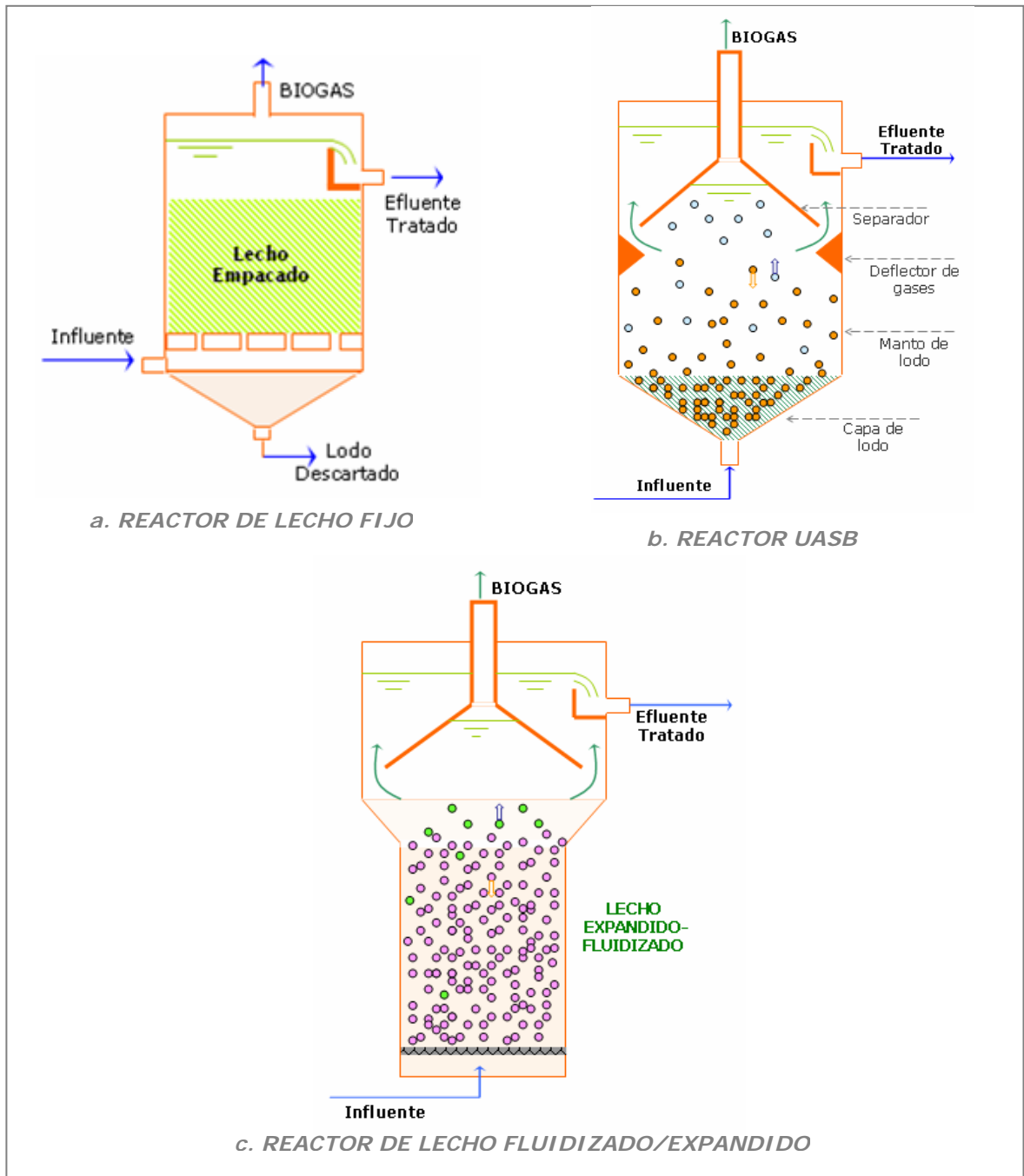
y la biomasa, aumentando así la eficiencia del sistema. El medio granular usado son pequeñas partículas con un área superficial y densidad grandes, entre ellos, arena, zeolita, sepiolita, piedra pómez, carbón activado, antracita, se busca que los medios de soporte tengan una baja resistencia, y así, lograr una reducción en la velocidad del líquido, disminuyéndose los costos de bombeo. Ambos sistemas se diferencian en la expansión del lecho (Expandido 20 – 40%, Fluidizado 40%). Poseen un consumo alto de energía, pueden tratar altas cargas orgánicas operando a bajos tiempos de retención hidráulica (TRH). (Rajeshwari et al., 2000), (Balaguer et al., 1997).

Tabla 3C. Ventajas y desventajas de los Reactores de Lecho Fluidizado/Expandido.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • Soporta altas cargas orgánicas. • Opera a bajos TRH (Tiempo de Retención Hidráulica). • Soporta aguas residuales con sólidos suspendidos. • Posee eficiencias de remoción de la carga orgánica más altas que el UASB. • Puede ser usado para el tratamiento de residuos concentrados o diluidos. • La transferencia de masa es muy buena. • Se evita la formación de canales y retención de gas en el lecho. • Reactores de volumen más pequeño debido a la elevada carga volumétrica (Kg/m³.d). • Operación relativamente estable bajo condiciones variables de alimentación y shocks tóxicos. • No necesita agitación mecánica. • El biogás y la recirculación aseguran una temperatura, pH y concentraciones de sustrato uniforme en el reactor. • La necesidad de espacio es relativamente pequeña. 	<ul style="list-style-type: none"> • La puesta en marcha es muy lenta. • Requerimientos energéticos importantes debido a la fluidización por bombeo. • Requiere un control complejo del proceso. • El control del relleno y de la cantidad de biomasa es muy difícil. • El diseño mecánico es relativamente complejo. • El coste del material relleno es alto. • Poca experiencia en plantas a escala real

Fuente: Adaptado de Kansal et al., 1998.

Figura 1C. Reactores usados en la digestión anaerobia.



Fuente: Adaptado de Moletta, 2005.



Anexo D. Listados de factores ambientales y acciones probables propuestas por Leopold et al., 1971.

Tabla 1D. Factores Ambientales

A. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS	
A.1 TIERRA	
a. Recursos minerales	d. Geomorfología
b. Material de construcción	e. Campos magnéticos y radiactividad de fondo
c. Suelos	f. Factores físicos singulares
A.2 AGUA	
a. Superficiales	e. Temperatura
b. Marinas	f. Recarga
c. Subterráneas	g. Nieve, hielos y heladas
d. Calidad	
A.3 ATMÓSFERA	
a. Calidad (gases, partículas)	c. Temperatura
b. Clima (micro, macro)	
A.4 PROCESOS	
a. Inundaciones	e. Sorción (intercambio de iones, complejos)
b. Erosión	f. Compactación y asentamientos
c. Deposición (sedimentación y precipitación)	g. Estabilidad
d. Solución	h. Sismología (terremotos)
	i. Movimientos de aire
B. CONDICIONES BIOLÓGICAS	
B.1 FLORA	
a. Árboles	f. Plantas acuáticas
b. Arbustos	g. Especies en peligro
c. Hierbas	h. Barreras, obstáculos
d. Cosechas	i. Corredores
e. Microflora	
B.2 FAUNA	
a. Aves	f. Microfauna
b. Animales terrestres, incluso reptiles	g. Especies en peligro
c. Peces y mariscos	h. Barreras
d. Organismos bentónicos	i. Corredores
e. Insectos	
C. FACTORES CULTURALES	
C.1 USOS DEL TERRITORIO	
a. Espacios abiertos y salvajes	f. Zona residencial
b. Zonas húmedas	g. Zona comercial
c. Selvicultura	h. Zona industrial
d. Pastos	i. Minas y canteras
e. Agricultura	
C.2 RECREATIVOS	
a. Caza	e. Camping
b. Pesca	f. Excursión
c. Navegación	g. Zonas de recreo
d. Zona de baño	
C.3 ESTÉTICOS Y DE INTERÉS HUMANO	
a. Vistas panorámicas y paisajes	f. Parques y reservas
b. Naturaleza	g. Monumentos
c. Espacios abiertos	h. Especies o ecosistemas especiales
d. Paisajes	i. Lugares u objetos históricos o arqueológicos
e. Agentes físicos singulares	j. Desarmonías
C.4 NIVEL CULTURAL	
a. Modelos culturales (estilos de vida)	c. Empleo
b. Salud y seguridad	d. Densidad de población
C.5 SERVICIOS E INFRAESTRUCTURA	
a. Estructuras	d. Disposición de residuos
b. Red de transportes (movimiento, accesos)	e. Barreras
c. Red de servicios	f. Corredores
D. RELACIONES ECOLÓGICAS	
a. Salinización de recursos hidráulicos	e. Salinización de suelos
b. Eutrofización	f. Invasión de maleza
c. Vectores, insectos y enfermedades	g. Otros
d. Cadenas alimentarias	
E. OTROS	

Fuente: García, 2004.

Tabla 2D. Acciones propuestas que pueden causar Impacto Ambiental

A. MODIFICACIÓN DEL REGIMEN:	
a) Introducción de flora y fauna exótica	g) Control del río y modificación del flujo
b) Controles biológicos	h) Canalización
c) Modificación del hábitat	i) Riego
d) Alteración de la cubierta terrestre	j) Modificación del clima
e) Alteración de la hidrología	k) Incendios
f) Alteración del drenaje	l) Superficie o pavimento
	Ruido y vibraciones
B. TRANSFORMACIÓN DEL TERRITORIO Y CONSTRUCCIÓN:	
a) Urbanización	k) Revestimiento de canales
b) Emplazamientos industriales y edificio	l) Canales
c) Aeropuertos	m) Presas y embalses
d) Autopistas y puentes	n) Escolleras, diques, puertos deportivos y terminales marítimas
e) Carreteras y caminos	o) Estructuras en alta mar
f) Vías férreas	p) Estructuras recreacionales
g) Cables y elevadores	q) Voladuras y perforaciones
h) Líneas de transmisión, oleoductos y corredores	r) Desmontes y rellenos
i) Barreras incluyendo vallados	s) Túneles y estructuras subterráneas
j) Dragados y alineado de canales	
C. EXTRACCIÓN DE RECURSOS:	
a) Voladuras y perforaciones	e) Dragados
b) Excavaciones superficiales	f) Explotación forestal
c) Excavaciones subterráneas	g) Pesca comercial y caza
d) Perforación de pozos y transporte de fluidos	
D. PROCESOS:	
a) Agricultura	h) Industria química
b) Ganaderías y pastoreo	i) Industria textil
c) Piensos	j) Automóviles y aeroplanos
d) Industrias lácteas	k) Refinerías de petróleo
e) Generación energía eléctrica	l) Alimentación
f) Minería	m) Herrerías (explotación de maderas)
g) Metalurgia	n) Celulosa y papel
	o) Almacenamiento de productos
E. ALTERACIONES DEL TERRENO:	
a) Control de la erosión, cultivo en terrazas o bancales	d) Paisaje
b) Sellado de minas y control de residuos	e) Dragado de puertos
c) Rehabilitación de minas a cielo abierto	f) Aterramientos y drenajes
F. RECURSOS RENOVABLES:	
a) Repoblación forestal	c) Recarga aguas subterráneas
b) Gestión y control vida natural	d) Fertilización
	e) Reciclado de residuos
G. CAMBIOS EN TRÁFICO:	
a) Ferrocarril	g) Deportes náuticos
b) Automóvil	h) Caminos
c) Camiones	i) Telecillas, telecabinas, etc.
d) Barcos	j) Comunicaciones
e) Aviones	k) Oleoductos
f) Trafico fluvial	
H. SITUACIÓN Y TRATAMIENTO DE RESIDUOS	
a) Vertidos en mar abierto	h) Vertido de aguas de refrigeración
b) Vertedero	i) Vertido de residuos urbanos
c) Emplazamiento de residuos y desperdicios mineros	j) Vertido de efluentes líquidos
d) Almacenamiento subterráneo	k) Balsas de estabilización y oxidación
e) Disposición de chatarra	l) Tanques y fosas sépticas, comerciales y domésticas
f) Derrames en pozos de petróleo	m) Emisión de corrientes residuales a la atmósfera
g) Disposición en pozos profundos	n) Lubricantes o aceites usados
I. TRATAMIENTO QUIMICO:	
a) Fertilización	c) Estabilización química del suelo
b) Descongelación química de autopistas, etc.	d) Control de maleza y vegetación terrestre
	e) Pesticidas
J. ACCIDENTES:	
a) Explosiones	c) Fallos de funcionamiento
b) Escapes y fugas	
K. OTROS:	
a)...	..b).

Fuente: García, 2004.