

**APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUALES LIQUIDOS
PROCEDENTES DE DESTILERIAS EN LA PRODUCCIÓN DE
BIOGAS.**

**MSc. Damaris González Rodríguez¹, Dra Juana Zoila Junco Horta¹, Ing Denise
Antonieta Soares Fernandes¹.**

*¹ Centro de Estudios de Medio Ambiente de Matanzas (CEMAM). Facultad de Ingenierías
Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Cuba*

Resumen

La preocupación y atención de Cuba sobre la protección de los recursos naturales y el medio ambiente ha venido aumentando en los últimos tiempos reflejándose esta atención en el establecimiento de reglamentaciones y leyes ambientales por parte del gobierno cubano. En particular el impacto ambiental que se genera a partir del vertimiento de residuales líquidos, es un tema de prioridad, siendo una de las medidas minimizar o eliminar este impacto. Las fuentes de energías renovables se han convertido hoy en una necesidad, en la que su desarrollo garantiza, no sólo la producción de combustible, que se emplean con diversos fines, sino que resulta de gran provecho en muchos casos por la eliminación de vertidos de cargas contaminantes agresivas al medio ambiente. En tal sentido se reporta la obtención de biogás a partir del tratamiento de residuales de destilería, los cuales poseen un enorme potencial contaminante y un elevado contenido de azufre, de forma tal este proceso industrial evoluciona hacia el empleo de tecnologías más limpias con un máximo aprovechamiento de sus residuales.

Palabras Claves: residuales líquidos, destilerías, biogas.

Introducción

El incesante desarrollo actual, ha traído aparejado al gran beneficio que reportan las nuevas tecnologías, un aspecto negativo sobre la biosfera. Todas las producciones en menor o mayor grado provocan que sus residuales contaminen al medio ambiente. La toma de conciencia acerca del tratamiento de este residual líquido es de vital importancia para disminuir la contaminación ambiental, por este motivo es que todos los países anualmente invierten grandes recursos su tratamiento antes de ser vertidos a los diferentes cuerpos receptores entre los que se encuentran: mares, ríos, lagunas, suelos.

El desarrollo de la industria azucarera y sus derivados, con sus procesos de altos índices de consumo de agua, empleo de nutrientes y desarrollo de una gran cantidad de materia orgánica, provocan el vertimiento de grandes volúmenes de residuales con un elevado contenido de materia orgánica los cuales deben ser tratados adecuadamente a fin de reducir las afectaciones que por contaminación ambiental experimenta el mundo actual de manera tan marcada ya casi en los umbrales de un nuevo siglo.

Aunque en Cuba la industria azucarera ha decaído en los últimos años, sigue siendo la producción azucarera un renglón económico importante, sin dejar de mencionar que en el mundo se sigue produciendo el azúcar tanto de caña como de otras materias primas como es el caso de la remolacha. Si bien han menguado el número de centrales existentes en el

país, se sigue produciendo este importante recurso (Montalvo, 2003, Valdés, 2006). En Cuba uno de los productos fundamentales de la industria de los derivados de la caña de azúcar es de alcohol, que se produce a partir de mieles finales de la producción de azúcar. El proceso de destilación del mismo produce un residuo final, vinaza, con un potencial contaminante muy alto y un elevado contenido de sulfatos. Esa producción es del orden de los 70 m³/d por destilería a partir de la cual se generan 700-1000 m³ de vinaza al día y estas tienen aproximadamente una concentración de materia orgánica (DQO) de 70 kg/ m³ (Valdés, 2006).

Es por ello que se exige con tanto rigor sobre la calidad del tratamiento de las aguas residuales de estas industrias. Teniendo en cuenta que las instalaciones depuradoras para estos casos pueden tener un costo relativamente elevado debe preverse sistemas de tratamientos que permitan la obtención de algunos subproductos con valor utilitario como son el biogás, los biofertilizantes y los alimentos para animales (CITMA, 2008).

Existen diferentes métodos empleados en el tratamiento de las vinazas, los cuales se clasifican en: fisicoquímicos, que incluyen el uso de electrolitos, ozono, luz ultravioleta, y biológicos, los cuales se pueden subdividir en aerobios y anaerobios. El objetivo principal de los tratamientos fisicoquímicos es la oxidación de los compuestos orgánicos contaminantes, mediante el empleo de sustancias químicas, que convierten a estos tratamientos en efectivos y rápidos, sin embargo, poseen las desventajas de ser caros y de emplear químicos que pueden provocar interferencias con las vinazas y generar otros contaminantes (Benítez, *et al.*, 2003).

En los últimos años se han venido desarrollando múltiples investigaciones de los residuales líquidos de la industria alcoholera, por métodos biológicos, con el objetivo fundamental de ofrecer sistemas de tratamiento más potentes con cinéticas más rápidas y con una minimización de las etapas limitantes del proceso, como puede ser la transferencia de materia.

Dentro de los tratamientos biológicos, el aerobio es poco utilizado para vinazas debido a su elevado contenido de material orgánico, asociado con la producción de lodos y por lo tanto, con dificultades de operación. Sin embargo, se ha estudiado el tratamiento de las vinazas en condiciones aerobias empleando algunos géneros de hongos como *Penicillium decumbens*, *Aspergillus terreus* y *Geotrichum candidum*, con la finalidad de remover compuestos fenólicos, los cuales en concentraciones altas, inhiben la acción de bacterias anaerobias (Jiménez *et al.*, 2003; García *et al.*, 1997).

La digestión anaerobia es recomendada para el tratamiento de las vinazas, debido a que soportan cargas orgánicas altas, poseen requerimientos bajos de energía y nutrientes, existe poca producción de lodos y las bacterias anaerobias son capaces de transformar la materia orgánica en metano, que se usa como fuente de energía. Se ha reportado que los procesos anaerobios presentan eficiencias de remoción de materia orgánica biodegradable del 70 al 91% en vinazas de diferentes orígenes, ofreciendo sistemas de tratamiento más potentes con cinéticas más rápidas y con una minimización de las etapas limitantes del proceso, como puede ser la transferencia de materia.

Residuales Líquidos Industriales.

El problema de los residuales líquidos industriales está íntimamente relacionado con la contaminación ambiental, ya que constituye una de sus causas. La denominación de residuales líquidos industriales se aplica a un conjunto muy variado de residuos que se obtienen como consecuencia de la actividad industrial. Con el aumento de la población y las necesidades creadas se fueron multiplicando los problemas que ocasionan los residuos generales, que lógicamente van en aumento con aquella. No solo es el incremento lógico de las aguas cloacales sino también de los residuos industriales, que puede decirse son el castigo pagado por una nación industrializada y la consecuencia de la civilización y su demanda por un alto estándar de vida. Esto no es, por supuesto, un argumento contra la industrialización, sino una consecuencia obligada de ella que hay que reconocer, y que fundamentalmente proviene de la falta de previsión al no incluir en las inversiones iniciales la planta de tratamiento de residuales líquidos.

Se entiende por aguas residuales o residuales líquidos, considerando su origen, la combinación de agua y residuos procedentes de diferentes actividades socioeconómicas y productivas, industrias, viviendas, instalaciones agropecuarias a las que pueden agregarse de forma eventual determinados volúmenes de aguas subterráneas, superficiales y pluviales (Castro; Reyes, *et al*, 2006).

Las aguas residuales deben considerarse una materia prima que contiene una cierta cantidad de productos útiles como: el agua, la materia orgánica y algunas sales, pero que además posee otros productos perjudiciales que es necesario eliminar y posteriormente lograr el aprovechamiento de los restantes mediante la aplicación más beneficiosa de las mismas (Cabrera, 2002).

Dentro de las industrias que contribuyen en gran medida a la contaminación ambiental en muchos países se encuentra la azucarera, tanto la que emplea como materia prima, caña de azúcar, como la remolacha.

En Cuba, la industria azucarera y sus derivados aportan anualmente una contaminación equivalente a los 10 millones de habitantes. De todos ellos, los más contaminantes por su carga orgánica (60 000 a 150 000 mg de Demanda Química de Oxígeno por litros , casi 1000 veces mayor que la permitida por la normativa, son las aguas residuales procedentes de la industria azucarera y alcoholera, y dentro de ellas, los fondos de las torres de destilación, conocidas con el nombre de vinazas, las que se producen en una proporción de 12 a 15 litros por cada litro de alcohol destilado (MINAZ, 2000).

El problema de los residuales líquidos industriales está íntimamente relacionado con la contaminación ambiental, ya que constituye una de sus causas. La denominación de residuales líquidos industriales se aplica a un conjunto muy variado de residuos que se obtienen como consecuencia de la actividad industrial. Con el aumento de la población y las necesidades creadas se fueron multiplicando los problemas que ocasionan los residuos generales, que lógicamente van en aumento con aquella. No solo es el incremento lógico de las aguas cloacales sino también de los residuos industriales, que puede decirse son el castigo pagado por una nación industrializada y la consecuencia de la civilización y su demanda por un alto estándar de vida. Esto no es, por supuesto, un argumento contra la industrialización, sino una consecuencia obligada de ella que hay que reconocer, y que fundamentalmente proviene de la falta de previsión al no incluir en las inversiones iniciales la planta de tratamiento de residuales líquidos.

Se entiende por aguas residuales o residuales líquidos, considerando su origen, la combinación de agua y residuos procedentes de diferentes actividades socioeconómicas y productivas, industrias, viviendas, instalaciones agropecuarias a las que pueden agregarse de forma eventual determinados volúmenes de aguas subterráneas, superficiales y pluviales (Castro; Reyes, *et al*, 2006).

Las aguas residuales deben considerarse una materia prima que contiene una cierta cantidad de productos útiles como: el agua, la materia orgánica y algunas sales, pero que además posee otros productos perjudiciales que es necesario eliminar y posteriormente lograr el aprovechamiento de los restantes mediante la aplicación más beneficiosa de las mismas (Cabrera, 2002).

Dentro de las industrias que contribuyen en gran medida a la contaminación ambiental en muchos países se encuentra la azucarera, tanto la que emplea caña como la que emplea remolacha.

En Cuba, la industria azucarera y sus derivados aportan anualmente una contaminación equivalente a los 10 millones de habitantes. De todos ellos, los más contaminantes por su

carga orgánica (60 000 a 150 000 mg de Demanda Química de Oxígeno por litros , casi 1000 veces mayor que la permitida por la normativa, son las aguas residuales procedentes de la industria azucarera y alcoholera, y dentro de ellas, los fondos de las torres de destilación, conocidas con el nombre de vinazas, las que se producen en una proporción de 12 a 15 litros por cada litro de alcohol destilado (MINAZ, 2000).

Residuales procedentes de la industria azucarera y alcoholera. Vinazas.

De todas las aguas residuales provenientes de los complejos azucareros/alcoholeros, las que son muy contaminantes por su concentración de material orgánico biodegradable y no biodegradable, son las vinazas y aguas de las limpiezas químicas con ácido clorhídrico y sosa cáustica que se utilizan, periódicamente. Estas últimas revisten especial importancia porque aunque no son de gran magnitud comparadas con el resto, sus características químicas (pH, contenido de metales y otras) las hacen potencialmente muy contaminantes. Para tener una idea de la problemática y considerando sólo los efluentes líquidos, se puede decir que los centrales, vierten anualmente millones de m³ de aguas residuales con una Demanda Química de Oxígeno (DQO) entre (3 y 5) kg/m³ (Solano, L. Escalona, *et al*; 2003). Las características de las vinazas varían considerablemente de acuerdo a la materia prima empleada, la localización y el tipo de proceso de fermentación adoptado (Pant y Adholeya, 2006), sin embargo, en la tabla 1 se muestran de manera general las principales características de las vinazas.

Tabla 1: Principales características de las Vinazas.

Característica	Intervalo
pH	Ácido (3-5)
Contenido de materia orgánica	Alto (DQO 100 000-150 000 mg O ₂ /L, DBO 35 000-50 000 mg O ₂ /L)
Compuesto por los ácidos acético y láctico, glicerol *	
Contenido en sales	Alto (40 mS/cm)
Color	Pardo, por la presencia de melanoidinas
Compuestos fenólicos	450-469 mg de ácido gálico/L

Fuente: Jiménez et al, 2006.

Según Serrano; Tortosa; *et al*, 2006 y Martínez; Benítez, *et al*, 2007, las principales características físicas de los residuos de agua son su contenido de sólidos, color, olor y temperatura.

El total de *sólidos* en aguas residuales incluye los sólidos insolubles o sólidos en suspensión y los compuestos disueltos en agua, lo cual permite conocer de forma general su naturaleza.

El *color* es una característica cualitativa que puede ser utilizada para evaluar el estado general de las aguas residuales. Las aguas residuales de color marrón claro corresponden a residuos inferiores a seis horas de edad, mientras que las de color gris medio responden a residuos de edades superiores a seis horas que son características de las aguas residuales que han sido objeto de cierto grado de descomposición. Por último, si el color es gris oscuro o negro, las aguas residuales son normalmente sépticas, después de haber sido objeto de amplia descomposición por las bacterias en condiciones anaeróbicas.

La determinación del parámetro *olor* es cada vez más importante, dado que el público en general se ha preocupado más por el buen funcionamiento de instalaciones de tratamiento de aguas residuales. El olor de aguas frescas generalmente no es ofensivo, sin embargo una gran variedad de compuestos olorosos se liberan cuando las aguas residuales se descomponen biológicamente en condiciones anaeróbicas. Un agua residual que está descomponiéndose despide olor a sulfuro de hidrógeno y otros compuestos, como el indol, escatol.

La *temperatura* de las aguas residuales es comúnmente más alta que la del suministro de agua caliente. La temperatura de las aguas residuales varía de temporada a temporada y también con la ubicación geográfica.

Características químicas

Los principales productos químicos inorgánicos incluyen amoníaco, nitrógeno orgánico, ión nitrito, ión nitrato, cloruro, sulfato, oligoelemento, fósforo-orgánico y fósforo inorgánico. Nitrógeno y fósforo son dos nutrientes responsables del crecimiento de plantas acuáticas (González, *et al*, 2009).

La materia orgánica en aguas residuales está representada por hidratos de carbono, (azúcares, almidones), proteínas, grasas, celulosa, lignina, orgánicos sintéticos y otros. Se han ideado métodos para medir la materia orgánica en conjunto en base a la demanda de oxígeno para su oxidación o el contenido total de carbono (Mendonça, 2000; González, Otelo, *et al*, 2009).

Cuando las vinazas son descargadas en suelos, los sólidos suspendidos que contienen provocan que exista una menor permeabilidad, lo anterior debido a la obstrucción de los

poros del suelo, evitando el paso normal de líquidos a través de él, favoreciendo fermentaciones anaerobias que generan olores desagradables (García *et al.*, 1997).

Kannabiran y Pragasam, (1993) reportan que la descarga de vinazas en suelos provoca la inhibición del proceso de germinación, lo anterior debido a una reducción en la alcalinidad en el suelo, causando una deficiencia de manganeso que no es recomendable en los cultivos.

La disposición de las vinazas en mantos acuíferos provoca el bloqueo de la luz solar debido a que son altamente coloridas, reduciendo la oxigenación generada por la fotosíntesis de plantas marinas, ocasionando la muerte de la vida acuática debido al vínculo que existe entre la vida acuática y su metabolismo, con el consumo de oxígeno disuelto. Otro factor que favorece la disminución del oxígeno disuelto en el agua, es la temperatura alta con la que son descargadas las vinazas, calentando el agua y disminuyendo la solubilidad del oxígeno en el agua (FitzGibbon *et al.*, 1998).

Impacto ambiental generado por las aguas residuales de la industria azucarera y sus derivados.

La dimensión ambiental debe analizarse, en un sentido amplio, tanto en sus aspectos naturales (como el suelo, la flora, la fauna) como de contaminación (aire, agua, suelo, residuos), de valor paisajístico, de alteración de costumbres humanas y de impactos sobre la salud de las personas. En definitiva, la preocupación surge con todas las características del entorno donde vive el ser humano cuya afectación pueda alterar su calidad de vida (Canter, L.W.2000).

En la industria del azúcar y sus derivados los efluentes líquidos se originan en los procesos de fabricación. Producto de ello, las aguas residuales del ingenio, como desechos del proceso tecnológico se caracterizan por un alto contenido de materias en suspensión de bagacillo y cachaza y residuos de productos químicos que se utilizan en las limpiezas de equipos. Además contienen, en menor cuantía, jugos azucarados, grasas y aceites y otros productos químicos empleados en la fabricación del azúcar, en el laboratorio azucarero y en el tratamiento de las aguas que se alimentan a las calderas para generar vapor. Estas sustancias y compuestos orgánicos al acumularse o transformarse afectan el medio ambiente (Perdigón, 2005).

De todos ellos, los más contaminantes por su carga orgánica de 60 000 a 90 000 mg/ L de DQO_{Cr} es el residual de la destilería de alcohol, (MINAZ, 2003), casi 700 veces mayor que la permitida por la normativa. Este aspecto está muy relacionado con el impacto negativo que ejercería sobre el medio biótico (flora y fauna) y el paisaje, pues de verterse en el río o

embalse, dados los parámetros de caracterización (Perdigón, 2005) provocaría un grado de contaminación alto en el cuerpo receptor, afectaría el equilibrio de la flora y la fauna, produciría un efecto de eutrofización no controlable y por tanto afectaría el paisaje al cambiar el aspecto del cuerpo receptor.

En Cuba, la industria azucarera y sus derivados aportan anualmente una contaminación equivalente a lo que puede aportar siete millones de habitantes.

En el periódico *Inter Press Service*, del 10 de mayo del 2006 se publicó un artículo titulado: Sugar Mill Poses Explosive Risk que expone uno de las mayores contaminaciones ocurridas en el municipio Calimete provincia Matanzas, Cuba, provocada por el complejo industrial de refinación del azúcar, Jesús Rabí, donde se le adjudica la acumulación de un metro de gas metano y otras violaciones de la ley ambiental.

Tomando en cuenta lo publicado, se evidencia que el peligro del vertimiento indiscriminado no está solamente en su efecto económico directo por el costo que representan las aguas de suministro, (que en Cuba es barato), sino en su efecto indirecto, ya que cuando se contaminan las aguas superficiales y subterráneas, surge una amenaza de alcance impredecible para la salud de la población (empleados y obreros de la propia industria, generalmente), así como trastornos de la producción en la agricultura y la propia economía del agua.

Sistemas de tratamientos de residuales líquidos.

El tratamiento de aguas residuales tiene como objetivo la transformación de la materia orgánica en material inorgánico y la reducción o eliminación de los organismos patógenos (Mendonça, 2000).

Varios autores (Mendonça, 2000; Montalvo, Guerrero, 2003; Junco, González, 2007) coinciden en que es posible combinar y complementar diferentes métodos de tratamiento donde predominan los fenómenos físicos, operaciones unitarias, con aquellos en los que la eliminación de los contaminantes se realiza mediante procesos químicos o biológicos conocidos como procesos unitarios para lograr diversos niveles de tratamiento a las aguas.

Los sistemas de tratamiento de residuales líquidos se clasifican de acuerdo con diferentes criterios (Serrano; Tortosa, *et al*, 2006), atendiendo a:

- El tipo de proceso utilizado para la remoción de los contaminantes en físicos, químicos y biológicos.

- El grado o nivel de tratamiento que debe aplicarse, en función de los objetivos que se quieren alcanzar: pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario o avanzado (Junco, González, 2007).
- El objetivo de los diferentes tipos y niveles de tratamiento es en general, reducir la carga de contaminantes del vertido y que no sea perjudicial para el medio ambiente y la salud humana.

Tratamiento físico. Son todos aquellos en los que se utilizan las fuerzas físicas para el tratamiento. En general se utilizan en todos los niveles. Sin embargo algunas de las operaciones son propias de la fase de pretratamiento. Algunas de las operaciones físicas son:

- Tamizado.
- Homogenización de caudales.
- Intercepción de aceites y grasas.
- Mezclado.
- Sedimentación.
- Flotación natural o provocada con aire.
- Filtración.- Con arena, carbón, cerámicas.
- Evaporación.
- Adsorción. Con carbón activo, zeolitas.
- Desorción (*Stripping*). Se transfiere el contaminante al aire.
- Extracción.- Con líquido disolvente que no se mezcla con el agua.

Tratamiento Químico. Son todos aquellos procesos en los que la eliminación de los contaminantes presentes en el agua residual se lleva a cabo mediante la adición de reactivos químicos, o bien mediante las propiedades químicas de diversos compuestos. Se utiliza junto con tratamientos físicos y biológicos. Algunas de las operaciones químicas son:

- Coagulación-floculación. Agregación de pequeñas partículas con el uso de coagulantes y floculantes (sales de hierro, aluminio y polielectrólitos).

- Precipitación química. Eliminación de metales pesados los cuales se hacen insolubles con la adición de hidróxido de calcio (lechada de cal), hidróxido sódico u otros que incrementan el pH.
- Oxidación-reducción. Con oxidantes como el peróxido de hidrógeno, ozono, cloro, permanganato potásico o reductor como el sulfito sódico. Reducción electrolítica. Provoca la deposición en el electrodo del contaminante. Se usa para recuperar elementos valiosos.
- Intercambio iónico. Con resinas que intercambian iones. Muy utilizado en la eliminación de dureza al agua.
- Ósmosis inversa. Se hace pasar el agua a través de membranas semipermeables que retienen los contaminantes disueltos.

Tratamiento Biológico. Se basan en fenómenos naturales de degradación, metabolismo y utilización de los productos contenidos en el agua residual (Zepeng, C. *et al*; 2000).

El tratamiento biológico del agua residual tiene como objetivo la coagulación y eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables y la estabilización de la materia orgánica que se encuentra suspendida y disuelta en la misma, mediante la acción de microorganismos. En este proceso se produce una serie de reacciones bioquímicas mediante las cuales los microorganismos utilizan la materia presente en el agua, la sintetizan y aprovechan la energía.

Los procesos de tratamiento biológico generalmente se utilizan como tratamientos secundarios, siendo precedidos por operaciones de filtración, sedimentación y/o separaciones mecánicas.

Para Weiland, P. *and* A. Rozzil; 2006, los sistemas de tratamiento biológico en general, deben separar primeramente la materia sólida que contiene el residual y deben lograr siempre la máxima producción, máxima economía y la utilidad y aplicación social de los productos y del agua, recuperados o producidos.

Los tratamientos biológicos se pueden clasificar según la presencia o ausencia de oxígeno disuelto en los mismos, en aerobios y anaerobios, donde intervienen microorganismos aerobios o anaerobios. En los casos en que intervienen microorganismos facultativos, estos se adaptan a las condiciones existentes.

El *pretratamiento* de las aguas residuales es un tratamiento previo, diseñado para remover partículas grandes, se realiza para preservar las instalaciones mediante la eliminación de

aquellos constituyentes que pueden provocar problemas posteriores en el funcionamiento de las diferentes operaciones y procesos (Theodore, 1999; Junco, González, 2007).

En esa primera etapa se emplean procesos físicos o mecánicos para las separaciones de sólidos groseros, tales como tamices, rejas, cribas de malla fina, desmenuzadoras y separadoras de aceite y grasa.

Tratamiento primario. Su objetivo es preparar al residual para recibir el tratamiento fundamental, químico o biológico. En este tratamiento se elimina un gran porcentaje de sólidos en suspensión, sobrenadante y materia inorgánica. En este nivel se hace sedimentar los materiales suspendidos con el uso de tratamientos físicos o fisicoquímicos. También se utiliza la flotación.

Las operaciones que incluye son el desaceitado y desengrase, la sedimentación primaria, la filtración, la neutralización y la desorción. Estos procesos se realizan en depósitos o estanques descritos por diferentes autores (Castro, Reyes, *et al.*, 2006; Solano, Escalona, *et al.*, 2003). En ocasiones ha sido necesario recurrir al empleo de métodos biológicos en este tratamiento (Martínez, 2000).

El *tratamiento secundario* constituye el proceso principal del sistema de tratamiento de residual líquido. Muchos autores (Almeida, 2000; Marcillo, 2005) hacen referencia solamente a la reducción del contenido de materia orgánica por aceleración de los procesos biológicos naturales. En realidad, en esta fase del tratamiento se produce la eliminación tanto de los sólidos en suspensión y compuestos orgánicos biodegradables del residual mediante procesos biológicos, así como la eliminación de otros contaminantes de carácter inorgánico mediante procesos químicos, todo está en dependencia de la composición de dichos residuales.

En el caso de residuales orgánicos el tipo de tratamiento más empleado en este nivel es el biológico, donde se produce la estabilización de la materia orgánica biodegradable mediante la acción de los microorganismos.

Aunque para la mayoría de los casos, el tratamiento secundario sea suficiente, en determinadas circunstancias se hace necesario un tratamiento terciario o avanzado (Acebedo, 2001; Junco; González, 2007), en el cual mediante procesos biológicos, químicos, físico-químicos o combinaciones, se logra eliminar otros componentes cuya reducción no ha sido posible en el tratamiento anterior (Martínez, 2002). Este tratamiento también se emplea para la eliminación de constituyentes que merecen especial atención como los nutrientes y contaminantes prioritarios o cuando es necesario obtener efluentes de alta calidad para su reutilización, donde las exigencias normativas incluyen también la

separación de compuestos orgánicos refractarios, metales pesados y en algunos casos, sólidos inorgánicos disueltos (Castro, Reyes, *et al.*, 2006; Solano, Escalona, *et al.*, 2003).

Esta etapa adquiere gran importancia en la actualidad debido a la necesidad de una mayor eficiencia en el tratamiento y gestión de las aguas residuales con vistas a lograr la calidad necesaria para su reutilización.

Tratamientos más frecuentes de las vinazas

Según Campos y Casañé, 2000, en un estudio realizado en Brasil se determinó que reducir la carga contaminante de las vinazas a niveles compatibles con los que se encuentran contemplados en la legislación sobre medio ambiente, sólo es viable desde el punto de vista económico y financiero en los siguientes casos:

- Utilizar la vinaza como *abono* en el cultivo de la caña de azúcar (requiere superficies de cultivo estratosféricas).
- Producir y utilizar en los procesos industriales ya sea de obtención de azúcar como en destilerías, el vapor generado a partir de la combustión del metano; producido por la fermentación anaeróbica de la vinaza.
- Recuperar y vender la proteína unicelular obtenida por el tratamiento aerobio de la vinaza o la efectuar la venta de la vinaza directamente, purificada y concentrada como materias primas en la producción de alimentos animales, previo estudios nutricionales.
- Producir y vender cenizas potásicas para emplear como fertilizantes. (Considerado muy costoso en destilerías como suele ser en la India).

Valdés, 2002, plantea la proyección actual y futura de la Industria de los Derivados, en Cuba, con una tendencia a definir métodos de tratamientos que den mayor aprovechamiento de los residuales con la obtención de subproductos de mayor utilidad, tanto para la industria como para la sociedad. El tratamiento para combatir la contaminación en lo referente a la vinaza no debe ser una carga económica para la destilería sino por el contrario la vía de obtener un producto con valor comercial, cuya venta le permita un ingreso extra de los que tradicionalmente obtiene, así como una reducción de las erogaciones que por concepto de vertimiento de aguas residuales o multas se deben hacer (Perdigón, 2005)

En concordancia con diversos autores, las vinazas pueden ser tratadas por diferentes métodos los cuales se resumen en la tabla 2 que se muestra a continuación.

Tabla 2. Tratamientos principales empleados en vinazas

Tipo de tratamiento	
Fisicoquímico	Floculación
	Electrocoagulación
	Electrofenton
	Ozonación
Biológico	Aerobio
	Anaerobio

Fuente. Villalobos, 2009

La floculación, posee relación con los fenómenos de transporte dentro del líquido para que las partículas hagan contacto. Esto implica la formación de puentes químicos entre partículas formando una malla de coágulos tridimensional y porosa. Así se formaría un floc suficientemente grande y pesado como para sedimentar (Moletta, 2005).

La electrocoagulación, se basa en la formación *in situ* de un coagulante como ánodo de sacrificio (cationes de aluminio o hierro), corroídos debido a una corriente aplicada, mientras se da la evolución simultánea del hidrógeno en el cátodo, permite la remoción de contaminantes por flotación. La ventaja de este tratamiento es la combinación de los fundamentos de electroquímica, coagulación e hidrodinámica en la remoción de contaminantes. El mecanismo de la EC depende de la química del medio acuoso, en especial de la conductividad eléctrica (Yavuz, 2007)

El tratamiento por electrofenton, se basa en el uso de una celda electrolítica sin dividir que contiene un ánodo (Pt) y un cátodo (grafito) donde se genera peróxido de hidrógeno mediante la reducción de dos electrones del oxígeno en el cátodo. Dentro de sus ventajas se encuentra la producción del radical hidroxilo, un oxidante fuerte y no selectivo, de la reacción entre H_2O_2 y Fe^{+2} (Yavuz, 2007).

La ozonización, se basa en la aplicación de ozono al medio, posee las ventajas de ser un oxidante poderoso, alta solubilidad en agua, rápidamente disponible y sin la formación de productos que requieran ser removidos. La adición de radiación ultravioleta y peróxido de hidrógeno incrementan la eficiencia de este tratamiento debido a la generación de radicales orgánicos, tales como el radical hidroxilo ($R\bullet$), capaz de oxidar compuestos orgánicos.

Yavuz, (2007) señala que entre las principales desventajas de los tratamientos fisicoquímicos se encuentra su elevado costo y el empleo de electrolitos que pueden provocar interferencias con la matriz e incluso llegar a producir más contaminantes. Sin

embargo los tratamientos biológicos han sido reconocidos como métodos efectivos de tratamiento para descargas residuales contaminadas. Tanto los sistemas aerobios como anaerobios son usados en el tratamiento de descargas de plantas agroindustriales incluyendo descargas de destilerías. En años recientes se incrementó la atención en también emplear la actividad microbiana (bacterias puras y hongos) para la eliminación de color y mineralización de aguas residuales. Los efluentes tratados con los sistemas biológicos son usados de una forma segura y efectiva para incrementar la productividad del suelo. Entre estos tratamientos se pueden mencionar las lagunas de estabilización,

Lagunas de Estabilización

Las lagunas de estabilización son sistemas de tratamiento de residuales líquidos con estructura muy simple, en las que se llevan a cabo procesos de depuración natural altamente eficientes y muy complejos, aún no muy bien comprendidos; entre los que se encuentran: sedimentación, digestión, estabilización aeróbica y anaeróbica de parte de la carga suspendida y disuelta, fotosíntesis, floculación biológica; procesos afectados por la temperatura, radiación solar, viento, lluvia, infiltración del agua del subsuelo hacia las lagunas y la percolación de agua de las lagunas hacia el subsuelo (Perdigón, 2005;Junco, 2007).

Valdés, 2002 propone las lagunas anaeróbicas como la solución de tratamiento económicamente más acertada para el residual de destilería en Cuba, dadas las altas concentraciones orgánicas del mismo; sólo en los casos en que no fuera posible su utilización, estudiar otras vías. Enfatiza, además que el residual una vez tratado por combinaciones de lagunas facultativas y aeróbicas, no presentará condiciones estéticas adecuadas, y tendrá aún un alto contenido de materia orgánica, lo que no permite disponerlo directamente a un curso receptor natural. La remoción de esta materia orgánica y color implicarían gastos no justificados, de ahí la política a seguir en su utilización como mejoramiento de suelos.

En la actualidad ha cobrado auge el aprovechamiento de la vinaza con diferentes fines, lo que se aleja de su tratamiento en lagunas de estabilización.

Sin embargo, algunas de sus ventajas, la sitúan como el sistema más difundido para países como Cuba, subdesarrollado y con las condiciones climáticas idóneas. Entre estas ventajas pueden citarse:

- Bajos costos de inversión y de mantenimiento con los cuales ninguno sistema puede competir.

- Su funcionamiento es por autodepuración, proceso simple que no necesita ningún calificado para su operación.
- Pueden recibir cargas orgánicas muy altas.
- Mayor actividad biológica para temperaturas promedios altas.

Cabe destacar que en ocasiones muchas de estas ventajas se convierten en desventajas por el funcionamiento del sistema, cuando se desconocen o no se aplican las normas según las cuales debe trabajar. Así, son frecuentes las siguientes ineficiencias:

- Pobre mantenimiento y limpieza de las lagunas.
- Producción de malos olores.
- Gasto del afluente por encima del diseño, lo que trae tiempos de residencia y porcentos de remoción menores.
- No se controla la calidad del efluente del sistema antes de su disposición al medio.
- Desarrollo de la corrosión en el medio ambiente circundante.

Digestión anaerobia

La digestión anaerobia es un proceso biológico en el cual la materia orgánica, en ausencia de oxígeno, y mediante la acción de un grupo de bacterias específicas, se descompone en *biogás* (CH₄, CO₂, H₂, H₂S, otros) y en *digestato*, que es una mezcla de productos minerales (N, P, K, Ca, entre otros) y compuestos de difícil degradación. Es un proceso natural que se produce en pantanos, lagos y ríos (Suchil; Jain *and* P.K.; 2001).

La fermentación bacteriana interviene en poblaciones microbianas diversas, en las que se distinguen cuatro etapas: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis (González; Alonso; *et al*, 2009).

Hidrólisis o licuefacción. Los compuestos orgánicos son solubilizados por enzimas excretadas por bacterias hidrolíticas que actúan en el exterior de células por lo que se consideran exoenzimas. La hidrólisis es la conversión de polímeros en sus respectivos monómeros.

Acidogénesis. Los compuestos orgánicos solubles que comprenden los productos de la hidrólisis son convertidos en ácidos orgánicos tales como acético, propiónico y butírico, fundamentalmente.

Acetogénesis. Se le conoce también como acidogénesis intermediara en la cual los productos correspondientes son convertidos en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono.

Metanogénesis. El metano es producido a partir del ácido acético o de mezclas de hidrógeno y dióxido de carbono, y puede formarse también a partir de otros sustratos tales como ácido fórmico y metanol.

Las cuatro etapas metabólicas que ocurren en los procesos de digestión anaerobia pueden ser representadas según la Figura 1.

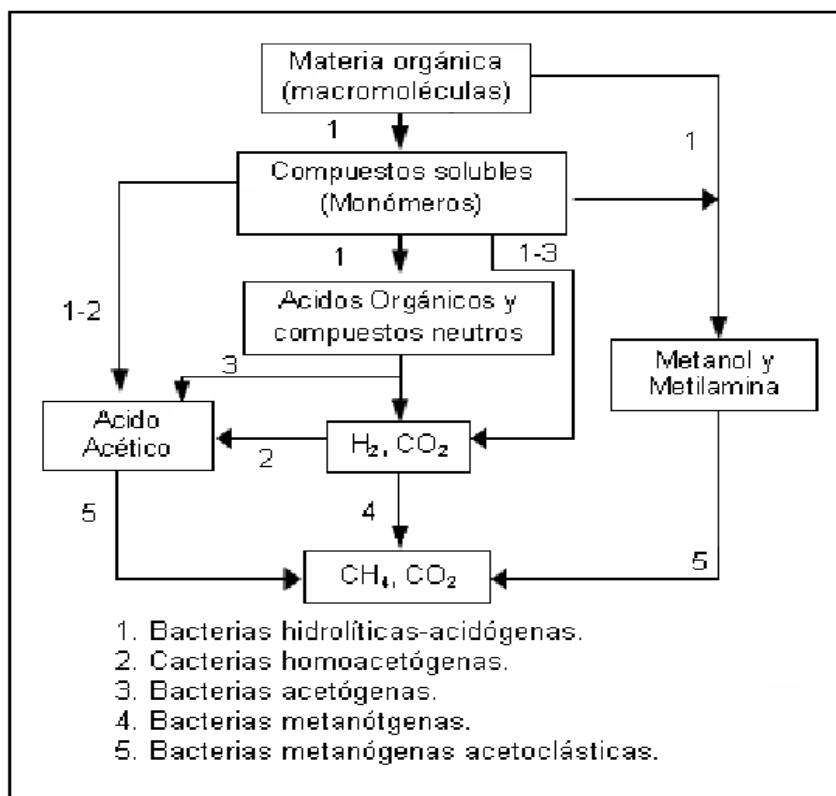


Figura 1 Etapas de fermentación bacteriana (Montalvo, 2003; Sánchez, 2003; Villalobos, 2009)

La producción de metano a partir de desechos orgánicos, mediante fermentación anaeróbica ha proporcionado una serie de ventajas adicionales a la producción misma del recurso energético (Conteras, 2006) conocido como biogás. Entre estas cabe mencionar las siguientes:

- Reduce olores en la utilización de los desechos.
- Evita la contaminación ambiental y la propagación de malos olores.

- Reduce la población de elementos portadores de enfermedades (tales como moscas y otros insectos).
- Deja un residuo sólido inodoro de excelentes características fertilizantes.

MINAZ 2000, Valdés 2002, hacen referencia a otras como:

- Resulta un tratamiento efectivo que reduce en un 75 % la carga contaminante.
- Se obtiene un combustible en forma de biogás, equivalente a 2 790 t de petróleo al año, con el cual se podría satisfacer del 30% al 45 % de la demanda energética de la destilería.
- Utilización como combustible doméstico.
- Requerimientos de área mínima.
- Bajo o ningún requerimiento de energía.
- Baja producción de lodo.
- Presenta un sistema de separador de sólidos y gases que evita un proceso de decantación secundaria.
- Sistema autorregulado.
- Se ha desarrollado un tipo de reactor, reactor de flujo ascendente con lechos de lodo (UASB), sencillo en su construcción, operación y eficiencia de tratamiento de residuales y producción de biogás.
- Con perturbaciones en la carga aplicada del (25 al 50) % la digestión responde bien y retorna a las condiciones normales de operación entre (10 - 15) días.

Factores que inciden en el proceso de la digestión anaerobia

Según Campos; Casañé, 2000, Conteras, 2006, los factores ambientales que hay que controlar hacen referencia a condiciones que deben mantenerse o asegurarse para el desarrollo del proceso.

Estos son:

- pH

El intervalo de pH es de 6,6 a 7,6. Los ácidos grasos volátiles (AGV) y el acetato tienden a disminuir el pH del sustrato. Si las bacterias metanogénicas no alcanzan a convertir

rápidamente los AGV a medida que lo producen las bacterias acetogénicas, estos se acumulan y disminuyen el pH en el biorreactor. Sin embargo, el equilibrio CO_2 - bicarbonato opone resistencia al cambio de pH. Existen métodos prácticos para corregir los bajos niveles de pH en el biorreactor. El primero es parar la alimentación del biorreactor y dejar que las bacterias metanogénicas asimilen los AGV; de esta forma aumentará el pH hasta un nivel aceptable. Al detener la alimentación disminuye la actividad de las bacterias fermentativas y se reduce la producción de los AGV. Una vez que se haya restablecido el pH se puede continuar la alimentación del biorreactor pero en pocas cantidades, después se puede ir aumentando gradualmente para evitar nuevos descensos. El segundo método consiste en adicionar sustancias *buffer* para aumentar el pH, como el agua con cal. Las cenizas de soda (carbonato de sodio) constituyen una variante más costosa, pero previenen la precipitación del carbonato de calcio. Los requerimientos de *buffer* varían según el residual, los sistemas y tipo de operación.

- Alcalinidad

El parámetro alcalinidad informa sobre la capacidad tampón para evitar la acidificación. Es recomendable una alcalinidad superior a 1,5 g/L CaCO_3 .

- Nutrientes

Además de una fuente de carbono orgánico, los microorganismos requieren de nitrógeno, fósforo y otros factores de crecimiento que tienen efectos complejos. Los niveles de nutrientes deben estar por encima de la concentración óptima para las metanobacterias, ya que ellas se inhiben severamente por falta de nutrientes. Sin embargo la deficiencia de nutrientes no debe ser un problema con los alimentos concentrados, pues estos aseguran suficiente cantidad de nutrientes.

Por otra parte, la descomposición de materiales con alto contenido de carbono ocurre más lentamente, pero el período de producción de biogás es más prolongado.

- Toxicidad

Los compuestos tóxicos incluso en bajas concentraciones, afectan la digestión y disminuye los niveles de metabolismo. Las bacterias metanogénicas son generalmente las más sensibles, aunque todos los grupos pueden ser afectados. Un nutriente esencial también puede ser tóxico si su concentración es muy alta, en el caso de nitrógeno, mantener un nivel óptimo para garantizar un buen funcionamiento sin efectos tóxicos es particularmente importante.

- Temperatura

La formación de metano se produce en la naturaleza a diferentes temperaturas. Los niveles de reacción química y biológica normalmente aumentan con el incremento de la temperatura. En aplicaciones técnicas, tres intervalos de temperatura se distinguen: temperatura psicrófila (10°C - 25 °C), temperatura mesófila (25°C - 45°C), temperatura termófila (49°C - 60°C). Sin embargo, la actividad enzimática de las bacterias depende profundamente de la temperatura. Las altas temperaturas causan una declinación del metabolismo, debido a la degradación de las enzimas; y esto es crítico para la vida de las células.

La mayoría de los biodigestores anaerobios han sido diseñados para actuar en el mesófilo, la temperatura ideal para el trabajo de 30°C - 35°C, ya que los requisitos térmicos para el funcionamiento del sistema son menores en comparación con el rango termófilo.

- Agitación

La agitación es un factor importante. En función de la tipología del reactor debe transferirse al sistema el nivel de energía necesario para favorecer la transferencia de sustrato a cada población o agregados de bacterias, así como homogenizar para mantener concentraciones medias bajas de inhibidores.

- Tiempo de retención

El tiempo de retención es el cociente entre el volumen y el caudal de tratamiento, es el tiempo medio de permanencia del influente en el reactor, sometido a la acción de los microorganismos. En el análisis del tiempo como factor que interviene en el control de los procesos anaerobios, hay que considerar tanto la edad del lodo como el tiempo de retención hidráulico.

La edad del lodo tiene mucha aplicación en el diseño y control de los reactores completamente mezclados, pero en película fija o reactores en los que la biomasa no es homogénea no tiene uso. Esto se debe a la dificultad práctica de medir la concentración de sólidos suspendidos volátiles (SSV) dentro del reactor.

- Velocidad de carga orgánica, OLR en inglés

Es la cantidad de materia orgánica introducida por unidad de volumen y tiempo. Valores bajos implican baja concentración en el influente y/o elevado tiempo de retención. El incremento en la OLR implica una reducción en la producción de gas por unidad de materia

orgánica introducida, por lo que se debe encontrar un valor óptimo técnico/económico para cada instalación y residuo a tratar.

Sistemas propuestos para incrementar la eficiencia de los tratamientos de vinazas.

En la actualidad se han planteado múltiples sistemas para el tratamiento de vinazas, todos con un fin en común, incrementar la eficiencia de los procesos de remoción de contaminantes. En la tabla 3 se muestran algunos de los tratamientos empleados.

Tabla 3. Tratamientos propuestos para vinazas

Proceso	Fuente de carbono	% de remoción de contaminantes
"Tratamiento biológico de vinazas por procesos aerobios y anaerobios en planta piloto(PP) y a nivel laboratorio(L)"	Caña de azúcar	DQO _{pp} : 64% DQO _L : 68%
"Mejoramiento de la producción de metano en vinazas a partir de un consorcio metanogénico inmovilizado"	Uva	DQO: 80 – 90%
"Estudio de la cinética de digestión anaerobia de vinazas pre tratadas con ozono, ozono más luz ultravioleta"	Caña de azúcar	DQO: 80%
"Tratamiento anaerobio de descargas recalcitrantes de destilerías empleando un reactor UASB"	Caña de azúcar	DQO: 39 – 45%

Fuente: Villalobos 2009.

En un estudio realizado por la autora a escala en el laboratorio de Química en la Universidad de Borås, Suecia, se analiza la producción de metano a partir de dos vinazas con diferente fuente de procedencia. Se les nombra **Vinaza a** al residual procedente de Lautmännen Agroetanol AB, Norrköping, Suecia y **Vinaza b** al residual procedente de Lautmännen Bioethanol production for fuel for car AB, Lidköping, Suecia, a ambas muestras se les determina el porcentaje de sólidos totales (ST) y sólidos volátiles (SV) y posteriormente son sometidas a un proceso de digestión anaeróbica por un periodo de 28 días, utilizando un inóculo, procedente de la planta de biogás Borås Energi o Miljö, Suecia, cual opera en condiciones termofílicas de 55 °C. La muestra de Vinaza a, posee un porcentaje de ST de 15,74 mientras que los SV son de 13,0 %. Para la muestra de Vinaza b es de 12,24 % y 7,11 % respectivamente. Las concentraciones tomadas para la digestión anaeróbica en

ambas muestras son: 0,5; 1,0; 2,0 g/ml en un volumen final en cada reactor de 125 ml. El inóculo posee 1,6 % de SV.

Para el desarrollo del experimento se empleó el Sistema Automático de prueba para Potencial de Metano de las siglas en inglés (AMPTS), este sistema es muy novedoso y tiene como principales ventajas, la reducción de la carga de trabajo y el tiempo, registro en el tiempo de la producción de biogás total, la producción de bio-metano y el flujo del mismo de manera sencilla, alta calidad de los datos para extraer información de los procesos cinéticos y es de fácil mantenimiento.

En el desarrollo del experimento, se analiza de manera automática el volumen de metano producido en el tiempo, el cual consta de una capacidad de 15 reactores para la digestión anaeróbica, con un baño termostático, al cual se le fijó las condiciones de operación, para de temperatura termofílica (55 °C), con agitación magnética, estos reactores se conectan a 15 frascos con hidróxido de sodio (NaOH) a 3M que contiene un indicador (Alazarín) de color rosado, el cual atrapa el dióxido de carbono (CO₂), mediante reacción química, posteriormente permite el paso de CH₄ a las celdas de medición y se registran los datos en un software para la medición del Metano . Como indica la figura 3.



Figura: 3. Sistema Automático de prueba para Potencial de Metano (AMPTS).

Fuente: www.bioprocesscontrol.com.

El volumen de metano producido en un periodo de 28 días, por cada una de las muestras, a diferentes concentraciones se describe en el gráfico 1.

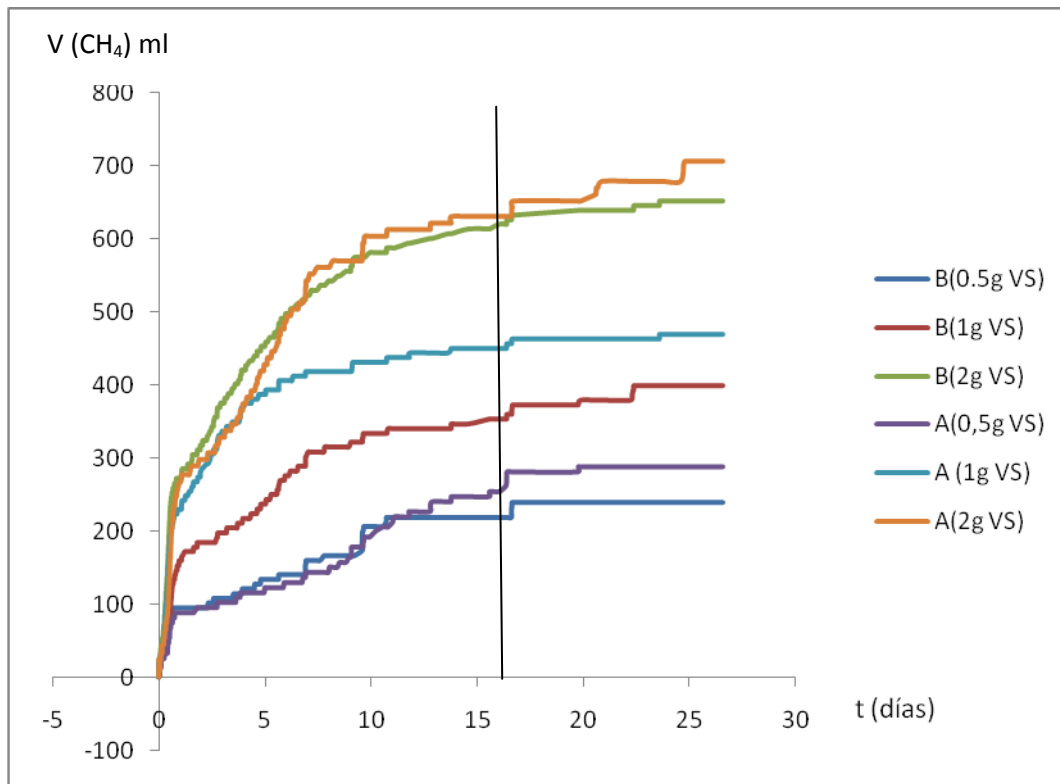


Gráfico 1 Volumen de metano producido en el tiempo para las muestras de vinazas a diferentes concentraciones. (Fuente propia)

Como se observa en el gráfico 1 la producción de metano para las muestras de mayor concentración (2 g/ml) es más elevada de 706,52 ml para la muestra de vinaza a y de 652,75 ml para la muestra de vinazas b, referente a las muestras de menor contenido de VS (0,5 g/ml) donde el volumen producido por las vinazas a y b es de 287,5 y 239,0 ml respectivamente, el tiempo en que se alcanza la fase estacionaria según se muestra es superior a los 15 días donde la producción de biogás disminuye por agotamiento del sustrato (Vinazas) alcanzando el máximo volumen de metano producido. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Jiménez y Borja en 2007 donde con concentraciones menores de 2g de VS obtienen un máximo de producción de metano expresado en unidad de volumen alrededor de los 700 ml para todas las muestras analizadas.

Si se observa en el gráfico 2 se muestra que la diferencia de volumen de metano producida entre las vinazas en una misma concentración se considera despreciable, (en todos los casos menor a 1ml de biogás), lo cual evidencia que independientemente la procedencia de las mismas su comportamiento frente a condiciones de inoculación iguales su comportamiento es similar.

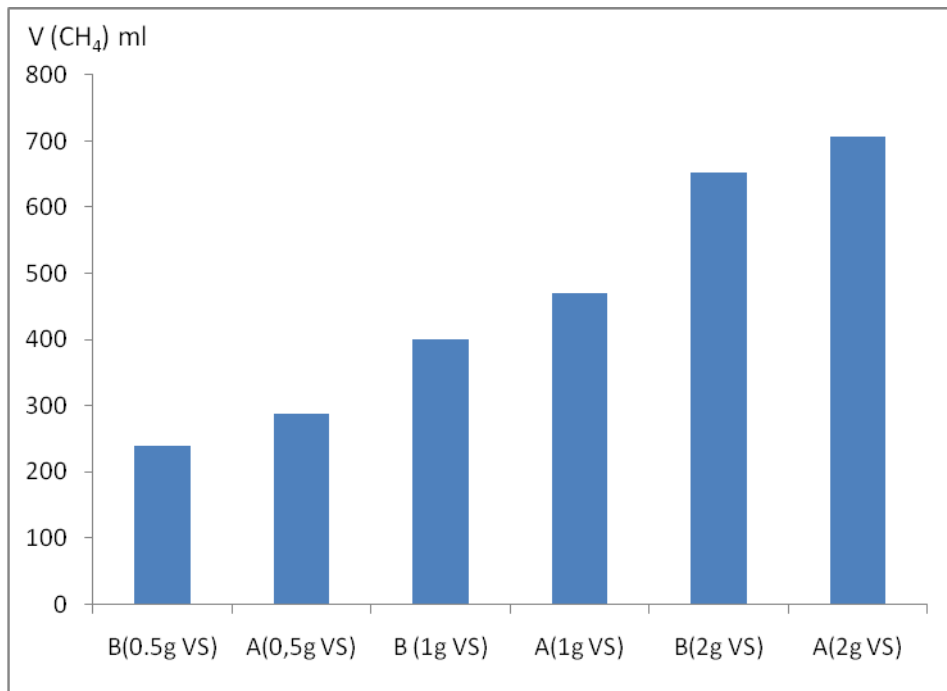


Gráfico 2: Volumen de metano producido por las muestras de Vinazas a y b a diferentes concentraciones. (Fuente propia)

Como se puede observar en el gráfico anterior, el volumen de biogás producido aumenta al aumentar la concentración de la muestra, ya que aumenta la disponibilidad del sustrato y por tanto, mayor consumo por parte del consorcio bacteriano que se encuentra formando parte del inóculo.

Apoyándose en las consideraciones anteriores, es posible reutilizar las vinazas para la producción de combustibles como el metano, que adicionalmente a los beneficios energéticos, que brinda por los usos que posee, el tratamiento de estos vertidos tiene un efectos inmediato en la descontaminación y según plantea Turrini, 2006 Significa una producción adicional de biofertilizantes rico en potasio y muy activo para el mejoramiento de los suelos.

Conclusiones.

El tratamiento de residuales de destilerías con posible reutilización en la producción de combustibles en forma de metano se ha generalizado a nivel mundial, haciendo a estos procesos industriales más eficientes, mediante el empleo de tecnologías de producciones limpias. Entre los diversos métodos empleados para el aprovechamiento de estos residuos se encuentra la digestión anaeróbica, con una adecuada producción de biogás que se destina a diversos fines como son la producción de energía en forma de calor y energía eléctrica y como valor agregado se obtiene biofertilizantes con poder nutritivo para el mejoramiento de los suelos.

Bibliografía.

- Almeida M .2000. Análisis preliminar del residual sólido y líquido procedente de una planta de tratamiento anaerobio que depura los efluentes de una fabrica procesadora de hoja de henequén. Trabajo de Fórum. Laboratorio provincial de suelo y fertilizantes.
- Benítez, F.J., Real, F., Acero, J., García, J., Sánchez, M. 2003. “Kinetics of the ozonation and aerobic biodegradation of wine vinasses in discontinuous and continuous processes”. Journal of Hazardous Materials B101. Pág. 203-218.
- Cabrera, A. 2002. El ABC del Medio Ambiente y el Desarrollo Sostenible. Evaluación Ambiental Integrada en Indicadores de Sostenibilidad. En: Curso Doctoral, Doctorado Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible. Universidad de Matanzas. Cuba.
- Campos, E, Flotats, X., Casañé, A., Palatsi, J., Bonnatí, A. 2002. *Anaerobic codigestion of pig slurry witch olive bleaching earth*. VI Seminario Latinoamericano de digestión anaerobia. Recife, Brasil. Vol. II pp. 57-60.
- Canter, L.W.2000. Manual de Evaluación de Impacto Ambiental. Técnicas para la elaboración de los estudios de impacto. 2da ed. Madrid: Mc Graw-Hill. 841 p.ISBN 84-481-1251-2
- Castro De Doens, L.; Reyes, E. E.; De Simonovic, H. L.; Young, R. N. y Ramírez, A.L. 2006. Guía de prevención de la contaminación de recurso hídrico, caracterización y tratamiento de aguas residuales para el sector de tenerías, Autoridad Nacional del Ambiente.
- Castro De Dones, L.; Reyes, E., et al.2006. Guía de prevención de la contaminación de recurso hídrico, caracterización y tratamiento de aguas residuales para el sector de tenería. Autoridad Nacional del Ambiente.
- CITMA, 2008. Programa Territorial de Medio Ambiente del CITMA. Enfoque Inter al Industria + Agricultura para la solución del problema ambiental que generan los residuales de la actividad productiva en la empresa azucarera Jesús Rabí.
- Conteras, L. 2006. Producción de biogás con fines energéticos. De lo histórico a lo estratégico. Revista futuros. Vol. 6
- González Sáez, L. Y, Alonso Pedroso, Y; Pérez Rojas, A. 2009. Propuesta técnica– económica para mejorar la producción y comercialización del bioplaguicidas *Bacillus Thuringiensis* que se obtienen en la Planta de biopreparados de la Provincia de Matanzas. Revista Cubana de Química. (aprobada). BDI: EBSCO, *Chemical Abstracts*, Cuba Ciencia, LATINDEX, Índice de revista Latinoamericanas y Actualidad Iberoamericana. ISSN 0258-5995

- González Sáez, L. Y. Oteló Cabelo, M; Junco Horta, J. Z. Pardini, G. 2009. Aprovechamiento de lodos de depuradoras urbanas como adsorbente: Efecto del método de activación. Revista Cubana de Química. (aprobada). BDI: EBSCO, Chemical Abstracts, Cuba Ciencia, LATINDEX, Índice de revista Latinoamericanas y Actualidad Iberoamericana. ISSN 0258-5995
- González Sáez, L. Y.; Casañola, Y; González, J; Acosta, A; García, I. 2009. Purificación de aguas residuales albañales de las EDARs urbanas de Varadero a partir de la aplicación de carbón activado obtenidos de sus residuos sólidos (lodos). Convención Internacional de la Universidad de Matanzas. [CD-ROM]. Universidad de Matanzas. ISBN
- Jiménez, A.M., Borja, R., Martín, A., Rasposo, F. 2006. "Kinetic analysis of the anaerobic digestion of untreated vinasses and vinasses previously treated with *Penicillium decumbens*". Journal of Environmental management. Vol.80, Pág. 306-310.
- Junco, J. Z.; González, J.C.2007. Metodología para el Monitoreo y Control de la Contaminación. Curso de Maestría de Contaminación Ambiental. Junio, 18-22.
- Marcillo, A. 2005. Tratamiento de aguas residuales. Disponible en : <http://www.tierramor.org/GranjaTierramor/biodigestor.htm> Consulta 20/2/2006
- Martínez Y. 2002. Estudio de variantes operacionales para el mejoramiento de la calidad de efluentes EDARs, a través de simulación matemática. Tesis en opción al Título Académico de Master en Control y Tratamiento de la Contaminación Ambiental. Universidad de Matanzas. Cuba.
- Martínez, Y., Benítez, A., Domínguez, F.J., Junco, J.Z., 2007. Alternativas de eliminación biológica de fósforo en Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales. *III Convención Científica Internacional de la Universidad de Matanzas (CIUM): VII Taller de Ecología y Desarrollo (ECODES)*. Varadero, Junio 13-14.
- Mendonça, S. R. 2000. Sistemas de Lagunas de Estabilización. Como utilizar aguas residuales tratadas en sistemas de riego. Colombia: Mc Graw- Hill Interamericana. 370p. ISBN 958-41-0090-0.
- MINAZ (CU). 2000. Minimización del agua y uso eficiente de los residuales en la agroindustria azucarera. La Habana
- MINAZ. 2000. Programa alcohol-levadura y bebidas alcohólicas. Ciudad de la Habana. Documento Interno.

- MINAZ. 2003. CD- ROM. Seminario a Especialistas de Ciencia y Técnica del MINAZ. CNCA. La Habana.
- Montalvo, S.J. y Guerrero, L.; 2003. Tratamiento Anaerobio de Residuales. Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile.
- NC: 27:1999(CU). Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Oficina Nacional de Normalización. 11 p.
- Perdigón S. M., 2005. Impacto sobre el medio ambiente de las vinazas de jugos de caña energética más miel final en la destilería Paraíso. Tesis presentada en opción del grado de Master en Gestión Ambiental y Protección de los Recursos Naturales, Universidad de Matanzas.
- Serrano, J. H.; Tortosa, B. I., et al 2006. Protección Ambiental y Producción Más Limpia. En Suplemento Especial Universidad para todos. Parte 1. La Habana: Academia16p.ISBN 978-959-270-097-0.
- Serrano, J. H.; Tortosa, B. I., et al 2006. Protección Ambiental y Producción Más Limpia. En Suplemento Especial Universidad para todos. Parte 2. La Habana: Academia. 16p.ISBN 978-959-270-097-0.
- Serrano, J. H.; Tortosa, B. I.; Terry Berro C. (a) et al 2007. Protección Ambiental y Producción Más Limpia. Parte 1. Folleto Universidad Para Todos.
- Serrano, J.H.; Tortosa, B.I.,et al. 2006. Protección Ambiental y producción + limpia. En Suplemento Especial Universidad para todos. Parte 1. La Habana: Academia. 16 p. ISBN 978-959-270-097-0
- Solano S., G., L. Escalona, Margarita Díaz y F. García.2003”Nuevas alternativas para el tratamiento sostenible de residuales de ingenios productores de azúcar de caña” [en línea]. Granma Ciencia. Volumen 7, No. 2, Mayo-Agosto. Disponible en: http://www.grciencia.granma.inf.cu/vol7/no.2/Resumen/2003_07_02_r06.htm
- *Standard Methods for Examination of Water and Waste Water*.1998. 20 ed.
- Súchil Kumar, M.C. Jain and P.K. 2001. *A note on simulation of biogas production from cattle dung by addition of charcoal. Biological Waste*. Vol. 20. 212-214pp.
- Theodore,L, et al.1999. *Waste Management*. En PERRY, R. H., et al.Perry’r Chemical Engineers Handbook [CD-ROM]. 7ma ed. USA: Mc Graw-Hill Companies, INC. Sección 25.
- Turrini, E 2006. El camino del Sol. Editorial CUBASOLAR. ISBN: 959-7113-17-1.

- Valdés, E. 2002. Tratamientos de residuales de la industria azucarera. Folleto ICDCA.
- Valdés, E. 2006. Tratamientos de residuales de la industria azucarera. Folleto ICDCA.
- Villalobos, C. 2009. Disminución de la materia orgánica biodegradable presente en vinazas mezcaleras mediante digestión anaerobia. Tesis doctoral.
- Weiland, P. and A. Rozzil; 2006. *The start-up operation and monitoring of highrate anaerobic treatment systems* Water Sci. Tech., vol. 28, no. 14.
- www.bioprocess.com//ATPM . 3 septiembre de 2010.
- Zepeng, C. et al; 2000.:*The application of two phase anaerobic digestion on the disposal of organic wastewater* Proc. 4 Int. Symposium on anaerobic digestion, Guanghou, China.
- Yavuz, Y. 2007. "EC and EF processes for the treatment of alcohol distillery wastewater". Separation and Purification Technology. Vol. 53. Pág. 135–140.