

TÍTULO: INGENIERÍA CONCEPTUAL PARA LA PRODUCCIÓN Y EMPLEO DE BIOGÁS A PARTIR DE VINAZAS DE DESTILERÍAS CON MITIGACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL: MINIRREVISIÓN

Autores: Dr. C. Ing. Joaquín de Jesús Obregón-Luna. obregon@suss.co.cu

Ms.C. Ing. Lisbet Mailín López-González. lisbet@suss.co.cu

Institución: Centro de Estudio de Energía y Procesos Industriales. Universidad de Sancti Spiritus “José Martí Pérez”, Cuba

RESUMEN

Se examinó la ingeniería conceptual de la producción y empleo de biogás a partir de vinazas de bioetanol de melaza de caña de azúcar. Se identificaron las tres formas de obtención más comunes: digestores de lecho fijo, lagunas de oxidación cubiertas y reactores de lodos anaerobios de flujo ascendente (UASB); todas con el doble propósito de elaboración de un combustible renovable y mitigación del impacto ambiental. Sus utilidades van desde uso doméstico, biocombustible en motores de combustión interna para el transporte y la generación eléctrica, también en la generación de vapor en calderas de combustión. Fue precisado que esta alternativa de aprovechamiento útil de las vinazas, es de las más prometedoras en el corto y mediano plazos, con subproductos asociados que aumentan el valor añadido.

Palabras clave: biogás | vinazas de alcohol | caña de azúcar | energía renovable | medio ambiente |

TITLE: CONCEPTUAL ENGINEERING OF THE PRODUCTION AND USE OF BIOGAS FROM DISTILLERY VINASSES WITH MITIGATION OF THE ENVIRONMENTAL IMPACT: A MINIREVIEW

ABSTRACT

Conceptual engineering of the production and use of biogas from vinasses of bioethanol of blackstrap molasses of sugarcane was examined. Three more common obtaining forms were identified: fixed-bed digesters, covered oxidation lagoons and Upflow Anaerobic Sludge Blanket reactors (UASB); all with the dual purpose of developing a renewable fuel and environmental impact mitigation. Their uses ranging from domestic use, biofuel in internal combustion engines for transportation and power generation, to the steam generation in combustion boilers. It was point out that this alternative beneficial use of vinasses is of the most promising in the short and medium term, with associated by-products that increase the added value.

Key words: biogas | vinasses of alcohol | sugarcane | renewable energy | environment

INTRODUCCIÓN

El biogás se origina en la biosfera de forma natural en la descomposición de la materia orgánica en medio líquido por los microorganismos. Descubierta por Volta en 1776, su nombre más conocido es “gas de los pantanos”, al predominar en estos escenarios geofísicos su origen. Se produce artesanalmente por comunidades humanas para necesidades energéticas locales, donde se destacan la India y la China que poseen millones de digestores rústicos instalados (Sasson, 1984), con limitaciones para usarse con vinazas de destilería de alcohol, por las cantidades que se originan (ICIDCA, 2006; López-González *et al.*, 2007).

La explosión productiva de bioetanol a partir de la caña de azúcar, ha generado grandes volúmenes de vinaza (Otero *et al.*, 2006). Entre otras alternativas, para su empleo útil, está la producción industrial del combustible biogás no siempre utilizable en cualquier destilería de alcohol. En su industrialización en gran escala, en el desarrollo multidisciplinario de instalaciones y procesos tecnológicos, la ingeniería química ha tenido el papel protagónico principal (Perera, 2012).

Por lo expuesto, el objetivo de este trabajo fue examinar las principales ingenierías conceptuales para producción y utilización del biogás, a partir de vinazas de bioetanol de la caña de azúcar con mitigación del impacto ambiental.

DESARROLLO

Las investigaciones bioquímicas de la formación de biogás, han identificado los cuatro grupos de reacciones generales que tienen lugar en su producción (Baez-Smith, 2006):

Carbono: C \rightarrow Ácidos orgánicos (R-COOH)+ Metano (CH₄)+ CO₂

Nitrógeno: N \rightarrow Aminoácidos (R- NH₂-COOH) \rightarrow NH₃ + Aminas

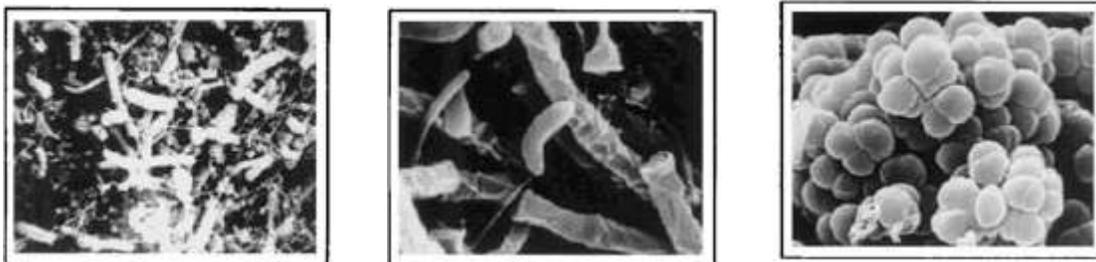
Azufre: S \rightarrow H₂S+ Compuestos orgánicos azufrados

Fósforo: P \rightarrow PH₃+ Compuestos orgánicos fosforados

El CH₄ es el componente del biogás objeto de obtención con la mayor concentración posible, mientras que el sulfuro de hidrógeno (H₂S) es el menos deseado, dado su alto poder corrosivo, entre otros.

Las reacciones anteriores ocurren en etapas concatenadas como sigue:
acidogénesis, \rightarrow acetogénesis \rightarrow metanogénesis.

Esto presupone que se parte de azúcares sencillos. Los entes transformadores son un *pull* de microorganismos. La Figura 1 muestra fotos de los mismos (Aivasidis & Diamantis, 2005).



Bacterias acidogénicas \rightarrow Bacterias acetogénicas \rightarrow Bacterias metanogénicas

Figura 1- Pull de microorganismos formadores del biogás

Con estos antecedentes bioquímicos-microbiológicos de procesos tecnológicos, ha correspondido, a la ingeniería química, el desarrollo de los equipos, basados en los diseños de los reactores químicos, con las notables diferencias de que en estos casos las temperaturas y presiones son mucho más bajas. Los fundamentos

empíricos experimentales y modelaciones matemáticas, han mantenido su validez a tales efectos (Perry *et al.*, 1997). Ello se ha erigido como protección al medio ambiente en una especialización llamada *tratamiento de residuales*, cuyos fermentadores industriales toman el nombre de *digestores* (Kumar, 2008; Vertés, 2010).

En el caso de las vinazas originadas de la producción de etanol por fermentación-destilación alcohólica, hay que acondicionarlas previamente con separación de sólidos suspendidos, ajustes de pH y temperatura entre otros (López-González, 2011). Los diseños de equipos han sido muy comunes independiente del sustrato fermentado, por lo que la solución para un tipo de vinaza tiene análoga validez para otra de sustrato diferente. A partir de un diseño típico siempre habrá que realizar los ajustes ingenieros, de acuerdo a las características específicas del residual líquido a utilizar para producir biogás. Para las vinazas, predominan los digestores de lecho fijo, lagunas de oxidación cubiertas y reactores de lodos anaerobios de flujo ascendente (Obregón-Luna, 2009).

La Figura 2 compila una ilustración del tipo de lecho fijo.



Figura 2- Planta de biogás de lecho fijo

La Figura 2 muestra que el digestor es un tanque empacado con un medio inerte, sobre el cual el *pull* de bacterias se adhiere y crece como una biopelícula, lo cual representa cierta forma de inmovilización de las mismas (López-González, 2011).

Los digestores tipo lagunas de oxidación cubiertas consisten en techar las mismas con un material plástico sintético inflable, hacen la función de receptor-

acumulador. En Cuba, dada las características climatológicas, se requiere de un sistema de refuerzos adicional para enfrentar la embestida de los ciclones tropicales. Por diseño hidráulico, las lagunas son varias conectadas en serie, a la primera se vierten las vinazas tal y como salen de la destilería de alcohol, por lo que su principal función es de estabilización de las vinazas con reducción de la temperatura, entre otros. En las restantes es donde ocurre la degradación con formación de biogás, proceso que la práctica ha demostrado ser más lento que con digestores. La Figura 3 ilustra una foto de este tipo de instalación.



Figura 3- Foto de una laguna de oxidación cubierta para colectar biogás

Foto y esquema diseñados con mayor nivel de ingeniería, se muestran en la Figura 4 (Linnenberg, 2006).

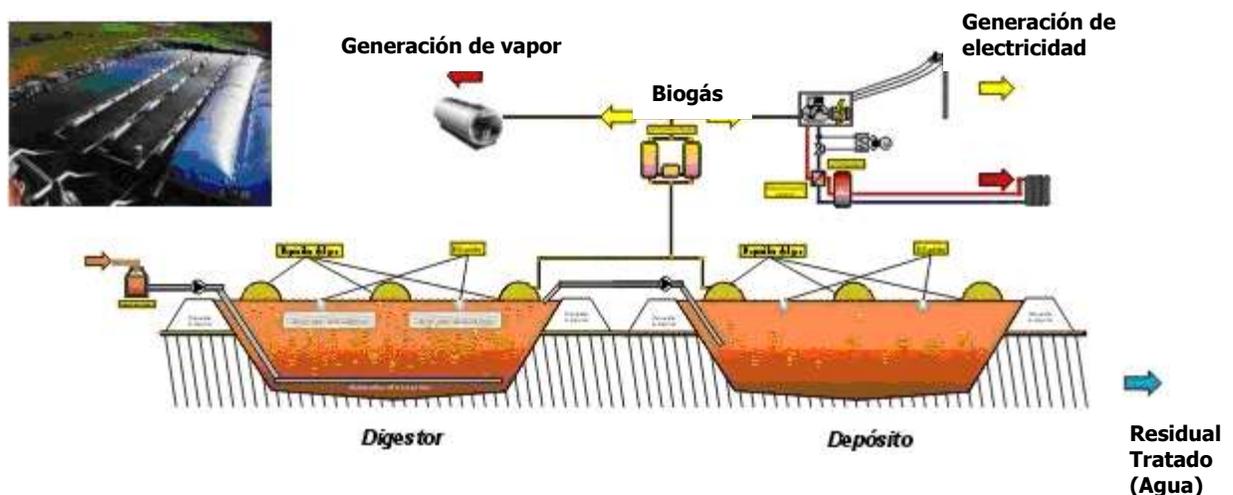


Figura 4- Foto y esquema ingeniero de lagunas de oxidación cubiertas

La Figura 4 evidenció que esta concepción ingeniera de producir biogás con vinazas, es más integral en su empleo final como combustible. Se destacan la generación de vapor, con el que también se puede cogenerar energía eléctrica en turbogeneradores a contrapresión o condensante; y la producción independiente de electricidad (López-González *et al.*, 2007).

Los digestores UASB son los más ampliamente difundidos, se le atribuyen las bondades de no tener partes móviles, construcción relativamente sencilla, bajo costes de inversión y operación, no requiere de soporte para las bacterias por utilizar lodos granular que retiene altas concentraciones de estas, y se pueden aplicar a altas velocidades de carga orgánica. Opera en régimen laminar por lo que no admite altas velocidades. La producción de excesiva biogás puede originar problemas con pérdida del estado estacionario. Las Figuras 5 y 6 muestran un esquema y una foto de un digestor de hormigón UASB instalado en Cuba (López-González, 2011).

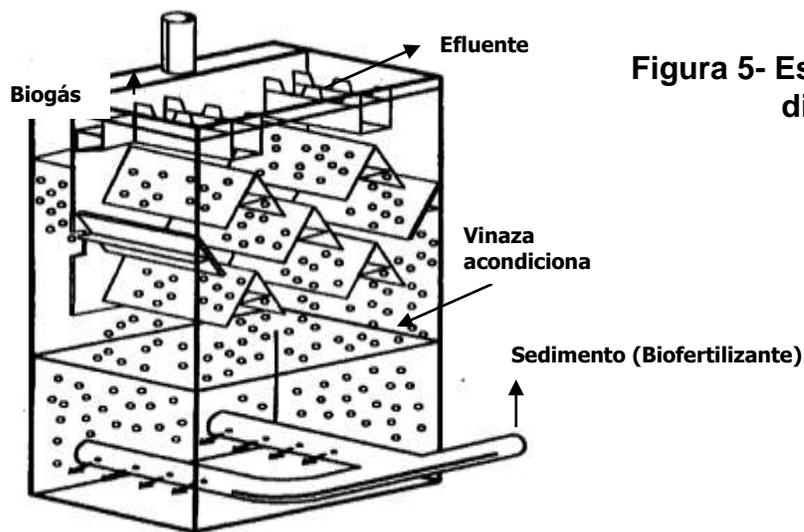
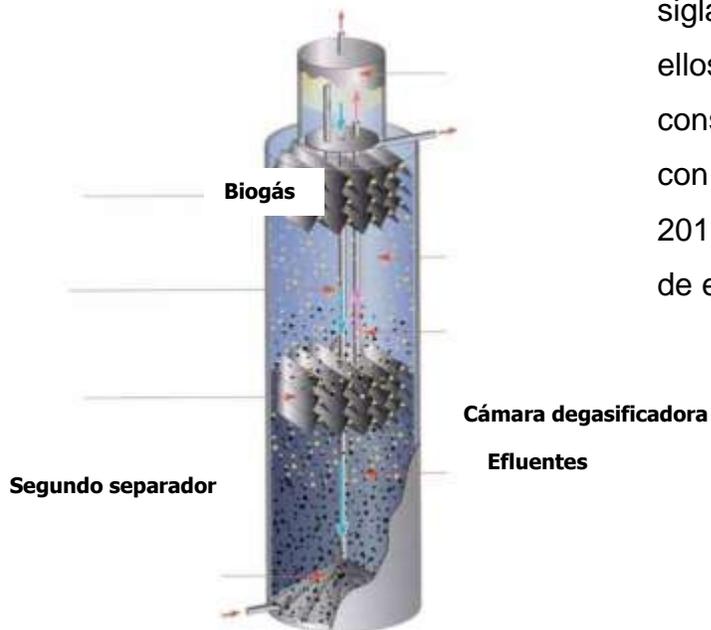


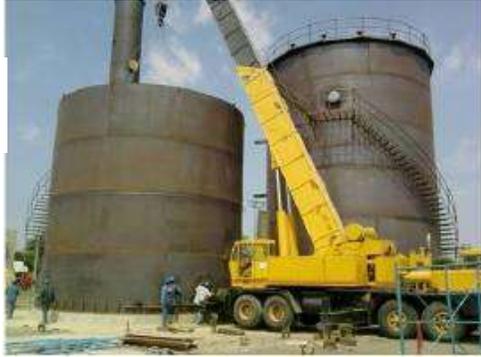
Figura 5- Esquema de un digestor UASB



Figura 6- Digestor UASB construido de hormigón

A partir de pruebas a escala piloto *in situ*, variante del digestor UASB es la del tipo de Circulación Interna (IC, por sus siglas en inglés). No es más dos de ellos conectados en serie, cuya construcción es un cilindro de metal con el doble de altura (Yspeer *et al.*, 2011). La Figura 7 ilustra un ejemplo de ello.





Compartimiento de terminación de producción de biogás

Conducto de primera separación de biogás

Compartimiento de cama expandida

Figura 7- Digestores UASB en serie (IC) de vinazas

Fuente: Adaptado de Yspeer *et al*, 2011.

El UASB de la parte inferior funciona con extracción de la mayor parte del biogás generado, lo que reduce la turbulencia en el segundo de la parte superior.

La Tabla 1 muestra algunas características operacionales de esta instalación (Yspeer *et al.*, 2011).

Tabla 1- Características operacionales de la planta de la Figura 7

Parámetro	Unidad de medida	Entrada	Salida
Flujo	m ³ /día	1 200	1 200
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	35 000	-
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)	mg/L	20 000	≤ 30
Sólidos Solubles Totales (SST)	mg/L	13 000	≤ 40
Nitrógeno Total (NT)	mg/L	400	≤ 15
Fósforo Total (FT)	mg/L	100	≤ 5

El análisis de la Tabla 1 constató que las eficiencias de remociones de DBO, SST, NT y FT son elevadas; lo que lo clasifica como un diseño actualizado.

La Tabla 2 muestra la macrocomposición del biogás de vinaza (Obregón-Luna 2009).

Tabla 2- Características del biogás

Gas	Símbolo	%
Metano	CH ₄	55-70
Dióxido de Carbono	CO ₂	30-45
Hidrógeno	H ₂	1-3
Nitrógeno	N ₂	0,5-3,0
Sulfuro de hidrógeno	H ₂ S	0,1-3,0
Vapor de agua	H ₂ O	Trazas

Tecnologías de biodigestión específicas de acuerdo a las características de la vinazas, están en utilización donde se obtiene hasta un 80% de metano (Cetrel, 2012).

La Tabla 3 ilustra las características generales de utilizaciones (Hilbert, 2006).

Tabla 3- Caracterización del empleo del biogás

EQUIPO	CONSUMO	RENDIMIENTO EN %
Quemador de cocina	300 – 600 L/h	50 - 60
Lámpara de camiseta 60 W	120 -170 L/h	30 - 50
Heladera de 100 L	30 – 75 L/h	20 - 30
Motor de combustión interna	0,5 m ³ /kW	25 - 30
Quemador de 10 kW	2 m ³ /h	80 - 90
Infrarrojo de 200 W	30 L/h	95 – 99
Cogenerador eléctrico	0,5 m ³ /kWh	Hasta 90

Previa purificación, la utilización del biogás es común independiente de la materia prima y digestor utilizado, comprende uso doméstico, combustible para motores de combustión interna y calderas de vapor. La Figura 8 muestra su empleo en pequeña escala en Cuba (Obregón-Luna, 2009).



Biogás para cocción



Biogás para iluminación

Figura 8.- Empleo del biogás en pequeña escala en Cuba

En motores de combustión interna es común en Europa su empleo en el transporte automotor, muy discreto aún en el caso cubano. También se utiliza como combustible en grupos electrógenos, que emplean moto generadores como el mostrado en la Figura 9 (Deublein & Steinhauser, 2008).



Figura 9- Grupo electrógeno que emplea biogás como combustible

El biogás también se utiliza en celdas combustibles en Europa, donde además existen diseños de micro turbinas, que emplean este biocombustible para generar electricidad como se ilustra en la Figura 10 (Deublein & Steinhauser, 2008).

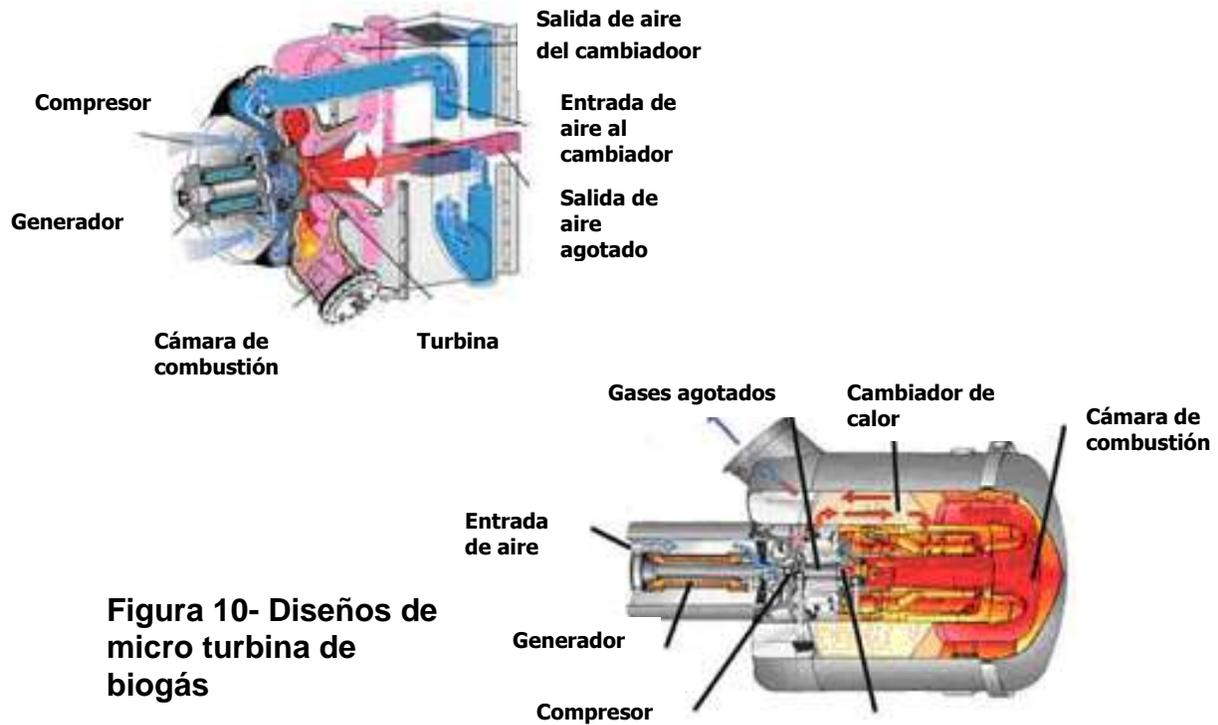


Figura 10- Diseños de micro turbina de biogás

Para la generación de vapor en calderas de combustión, se emplean los mismos quemadores utilizados para el gas natural.

El biofertilizante que se produce tiene diversas utilidades en la agricultura. Los efluentes al menos en Cuba, tienen una laguna de oxidación más pequeña que las usadas para degradar las vinazas directas. Se emplean en fertirriego lo que cierra un ciclo hídrico con ahorros de agua utilizada en los cultivos. En conjunto, estos subproductos asociados aumentan el valor añadido a la producción de biogás.

CONCLUSIONES

La producción industrial de biogás ha conllevado, a la utilización de los principios de diseños de reactores de la ingeniería química en digestores de lecho fijo, lagunas de oxidación cubiertas y los de UASB; para el tratamiento de vinazas originadas en la producción de alcohol de caña de azúcar, entre otros. Se ha constituido como una especialización el tratamiento de residuales. Las soluciones ingenieras obtenidas son comunes, solo requieren ajustes tecnológicos para cada caso. Ha involucrado trabajo en equipo multidisciplinario, acentuado en sus

utilizaciones prácticas como biocombustible para producir energías térmica y eléctrica. Los efluentes con mucha menos DQO y DBO se tratan en una pequeña laguna de oxidación final, se utilizan en fertirriego que origina ahorro de agua de regadío. El biofertilizante obtenido tiene amplio uso en la agricultura. Estos últimos aspectos aumentan el valor agregado a su producción. Esta alternativa de empleo útil de las vinazas, resulta atractiva en muchos escenarios, dado a su relativo bajo costo, ahorro de agua y protección medioambiental.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aivasidis, A. & Diamatis, V. (2005). Biochemical Reaction Engineering and Process Development in Anaerobic Wastewater Treatment. Disponible en: <http://www.springer.com/series/10>
2. Baez-Smith, C. (2006). Anaerobic Digestión of Vinasse for the Production of Methane in Sugar Cane Destillery. SPRI Conference on Sugar Processing. Documento en pdf. 20 pp.
3. Cetrel (2012). Producción de energía a partir de vinazas. notiEtanol, Año 8- No. 09 mayo. Disponible en: www.icidca.cu
4. Deublein, D. & Steinhauser, A. (2008). Biogas from Waste and Renewable Resources. An Introduction. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, ISBN 978-3-527-31841-4
5. Hilbert, J. (2006). Manual para la producción de biogás. Instituto de Ingeniería Rural. I.N.T.A.-Castelar. Documento en pdf, 57 pp.
6. ICIDCA. (2006). Logro BIOGÁS. Libro de 13 capítulos. CD-ROM. Cuba.
7. Kumar, S. (2008). Anaerobic Biotechnology for Bioenergy Production: Principles and Applications. John Wiley & Sons, Inc. ISBN: 978-0-813-82346-1.
8. Linnenberg, C. (2006). Tratamiento de desechos azucareros. Taller Internacional "CUBASOLAR 2006". Presentación Power Point, 13 Diapositivas.

9. López-González, L.; Romero-Romero, O. & Barrera-Cardoso, E. (2007). La producción de biogás en la Empresa Azucarera Melanio Hernández. *Revista Centro Azúcar* 34 (3). ISSN 0253 5757.
10. López-González, L. (2011). Tecnologías más usadas en la producción de biogás a escala industrial. Centro de Estudio de Energía y Procesos Industriales. Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez”, Cuba. Documento interno.
11. Obregón-Luna, J. J. (2009). Vinazas de sustratos fermentados y destilados de caña de azúcar: Estado del arte de utilidades. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos71/vinazas-sustratos->
12. Otero, M.; Martínez-Valdivieso, J. & Saura, G. (2006). Las vinazas de destilería: ¿Un subproducto de la producción de etanol más que un residual? 49 Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Cuba. Mesa Redonda. Presentación Power Point.
13. Perera, J. G. (2012). Concentración y Combustión de Vinazas. Ministerio de Gobierno y Justicia de la Provincia de Tucumán. Secretaría de Estado de Gobierno y Justicia - Subsecretaría de Asuntos Técnicos, Argentina. Disponible en: <http://www.tucuman.gov.ar/variados/proyecto>
14. Perry, R. H. *et al.* (1997). *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. 7th Edition. McGraw Hill Book Company, Inc. ISBN 0-07-115448-5. USA.
15. Sasson, A. (1984). *Las biotecnologías: desafíos y promesas*. UNESCO/Centro de Investigaciones Biológicas. La Habana, Cuba. 338 pp.
16. Vertés, A. *et al.* (2010). *Biomass to biofuels : strategies for global industries*. John Wiley & Sons, Ltd. ISBN 978-0-470-51312-5 (cloth).
17. Yspeer, Y. *et al.* (2011). *Anaerobic Treatment of Tequila by the IC Reactor*. Manuscript, pdf. 4 pp.