



Revista *Márgenes*. Vol.5, No.3, Julio-Septiembre, 2017. RNPS: 2460

¿Cómo referenciar este artículo?

Obregón-Luna, J. J. (2017). Recirculación de vinazas al proceso de fermentación alcohólica para reducir volúmenes generados e impacto ambiental. *Revista Márgenes*, 5(3), 29-38, julio-septiembre. Recuperado de: <http://revistas.uniss.edu.cu/index.php/margenes/issue/view/638>

TÍTULO: RECIRCULACIÓN DE VINAZAS AL PROCESO DE FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA PARA REDUCIR VOLÚMENES GENERADOS E IMPACTO AMBIENTAL

Autor: Dr. C. Ing. Joaquín de Jesús Obregón-Luna

Centro de Estudio de Energía y Procesos Industriales (CEEPI). Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez”, Cuba. Correo electrónico: obregon@uniss.edu.cu

RESUMEN

El presente artículo tiene como propósito: realizar una revisión actualizada de la recirculación de vinazas al proceso fermentativo alcohólico, con reducciones de volúmenes originados, consumos de sales nutrientes y ácido sulfúrico, que mitigue el riesgo de impacto ambiental. Se revisó el estado actual de la tecnología de recirculación de vinazas al proceso fermentativo alcohólico, aplicable con sustratos concentrados de la caña de azúcar como las mieles B y las melazas. Se evidenció que el esfuerzo de la ingeniería bioquímica se concentra en reducir la generación de volúmenes de estas con dos alternativas ejecutables de forma simultáneas: aumentar el % alcohólico en el mosto fermentado y utilizar intercambiador de calor con vapor saturado, en vez de este último en contacto directo con el mosto fermentado en la columna destiladora. Como necesidad de minimización de riesgos de afectaciones en condiciones reales de producción, debe disponerse de un *stock* de varias cepas de levadura de baja y de alta o accesible de adquirirlas en un banco de estas. Se constató que empleada actualmente con frecuencia en la producción de alcohol agrocombustible, no es una tecnología infalible, por lo

MINIRREVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

que cada destilería de alcohol debe tener varias alternativas simultáneas de mitigación ambiental de las vinazas que se originan, como el fertirriego y elaboración de compost, entre otros.

Palabras clave: fermentación alcohólica; recirculación de vinazas; destilerías de alcohol; caña de azúcar; mitigación del impacto ambiental.

TITLE: VINASSES RECIRCULATION TO THE ALCOHOLIC FERMENTATION PROCESS TO REDUCE GENERATED VOLUMES AND ENVIRONMENTAL IMPACT

ABSTRACT

The present article has the purpose of doing an updated review of the vinasses recirculation to the alcoholic fermentation process, with reduction of generated volumes, consumption of nutrients and sulfuric acid, in order to mitigate the risk of environmental impact. The current state of vinasses recirculation technology to the alcoholic fermentation process was checked, applicable with concentrated mash of the sugar cane as molasses B and blackstrap molasses. It was evidenced that the effort of the biochemical engineering is focused on diminishing the generation of volumes of these molasses in a simultaneous way with two executable alternatives: to increase the alcoholic % in the mash fermented, and to use reboiler with saturated steam instead of steam in direct contact with the mash fermented in the column distiller. As a necessity of diminishing the risks of effects under real conditions of production, there should be available a stock of several yeast strains of low and of high or accessible to acquire it in a bank of these yeast strains. It was verified that although, nowadays, the vinasses recirculation technology is used frequently in the production of alcohol agrocombustible, it is not an infallible technology, for what each alcohol still should have several simultaneous alternatives of environmental mitigation of the vinasses that they originate, as the fertirrigation and the compost, among others.

Keywords: alcoholic fermentation; vinasses recirculation; alcohol stills; sugar cane; mitigation of the environmental impact.

INTRODUCCIÓN

MINIRREVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Las vinazas originadas con las tecnologías tradicionales de fermentación alcohólica discontinua (*batch*), están en el orden de 10 L a 15 L por cada L de etanol a 100⁰ Gay Lussac (G.L.) (De la Cruz, 2002; Albers, 2007), lo que ha caracterizado a las destilerías de bioetanol como una industria gran consumidora de agua (Obregón-Luna, 2012). A los efectos de solucionar este problema, se realiza la recirculación de las mismas al proceso fermentativo alcohólico, factible a partir que el sustrato de caña de azúcar utilizado sea de alta concentración, toda vez que con jugos de caña no existe esta posibilidad al no requerir dilución (Obregón-Luna, 2009). Es por ello que resulta aplicable en destilerías de etanol que fermenten melazas, mieles y/o meladura de caña de azúcar, típico de Centroamérica y el Caribe en períodos inactivos de producción de azúcar por razones climáticas principalmente (Obregón-Luna, 2009).

Existen firmas que en sus ofertas de destilerías de etanol 'llave en mano', especifican una reducción a unos 3 L a 4 L de vinaza por cada L a 100⁰ G.L de etanol producido (CATIC, 2006; Inter-Continental Infraproject, 2006), aspecto que unido a mejoras al proceso fermentativo para aumentar el % alcohólico y reducir volúmenes de dicha vinaza generada, son objeto de estudio (Valsechi, 2007). Como tecnología implementada para el empleo útil de las vinazas con sustratos concentrados, que ahorra agua y reduce el riesgo que se conviertan las mismas en un residual líquido agresivo al medio ambiente, se definió que el propósito de este artículo es: realizar una revisión actualizada de la recirculación de vinazas al proceso fermentativo alcohólico, con reducciones de volúmenes originados, consumos de sales nutrientes y ácido sulfúrico, que mitigue el riesgo de impacto ambiental.

DESARROLLO

Definido que la recirculación de vinazas al proceso de fermentación alcohólica es aplicable con sustratos concentrados de la caña de azúcar, con ahorro de agua y reducción del volumen de las mismas; se evidencia que tiene una significativa incidencia múltiple en la mitigación del impacto ambiental, del hasta ahora considerado como un residual líquido agresivo. Es aceptada como alternativa de proceso tecnológico con su propósito básico en la minimización del impacto

MINIRREVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

ambiental, sobre lo cual existen estudios que argumentan que la producción de etanol a partir del maíz con Estados Unidos a la cabeza (Montoya et al., 2006), aventaja a la caña de azúcar en este sentido, donde Brasil lleva el papel protagónico principal, sin embargo energéticamente no es exactamente así (Obregón-Luna, 2012). No obstante, la misma no es simplemente regresarlas al proceso, sino que conlleva un soporte de innovaciones radicales (Castro Díaz-Balart, 2002) de otras ramas de las ciencias como la ingeniería genética; en la obtención de nuevas cepas de levaduras de alta o de baja, resistentes o tolerantes a los inhibidores bioquímicos y microbiológicos que se perfecciona día a día facilitado por el desarrollo de software que economizan tiempo, trabajo y recursos. Ello se enmarca en el alcance de producciones más limpias (PML), para la sostenibilidad de la producción de bioetanol agrocombustible en expansión en el mundo (Obregón-Luna, 2012).

Este proceder no es infalible, ya que aumentan los ácidos volátiles en particular el acético (Castro-Moreno, 2014) y los fenoles entre otros inhibidores a la levadura. Se afecta de forma significativa los rendimientos y costos de producción (Obregón-Luna, 2000). Origina reducir la recirculación de vinazas, que por lo general sustituye entre el 30% y el 50% del agua de dilución (Dazar et al., 2014), e incluso eliminarla. En no pocos casos se tiene que cambiar la cepa de levadura *Saccharomyces spp.*

La recirculación de vinazas puede comprenderse con facilidad a partir del esquema mostrado en la Figura 1.

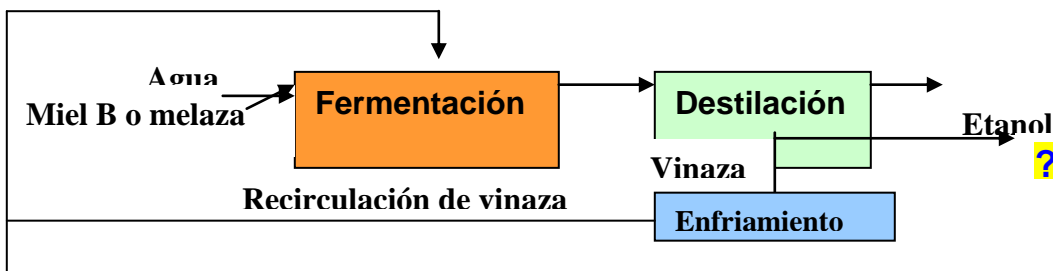


Figura 1. Esquema general de recirculación de vinazas a la fermentación

Fuente: Elaboración propia

MINIRREVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Teóricamente en la medida que más vinaza es recirculada, menos volúmenes de estas brotan de la destilería como residual líquido, y menos agua se insumirá para preparar el mosto, ambos aspectos muy deseados y sería lo ideal. Sin embargo, objetivamente eso no es alcanzable al nivel actual de desarrollo de la tecnología de fermentación alcohólica, por lo que se han centrado en brindar soluciones viables para reducir los volúmenes generados. Dos alternativas muy empleadas hoy día y ejecutables simultáneamente en la misma destilería son las principales (Albers, 2007; Obregón-Luna, 2012):

- Aumentar el % alcohólico en el mosto fermentado.
- No emplear vapor saturado contacto directo en la columna destiladora.

Ambas reducen los volúmenes de vinazas que se originan: la primera por combinaciones de adecuada preparación del mosto, control estricto de temperatura en la fermentación que no exceda de al menos 34⁰ C y empleo de cepas de levadura seleccionadas, incluye las modificadas genéticamente. La segunda, mediante utilización de un intercambiador de calor (*reboiler*) en vez de vapor contacto directo en la columna destiladora, demostrable mediante balances de materiales y de calor, que adicionalmente reduce consumos de agua y energía (Obregón-Luna, 2011 b). Para ello, sin necesidad de realizar los cálculos ingenieriles correspondientes, la Figura 2 ilustra al respecto.

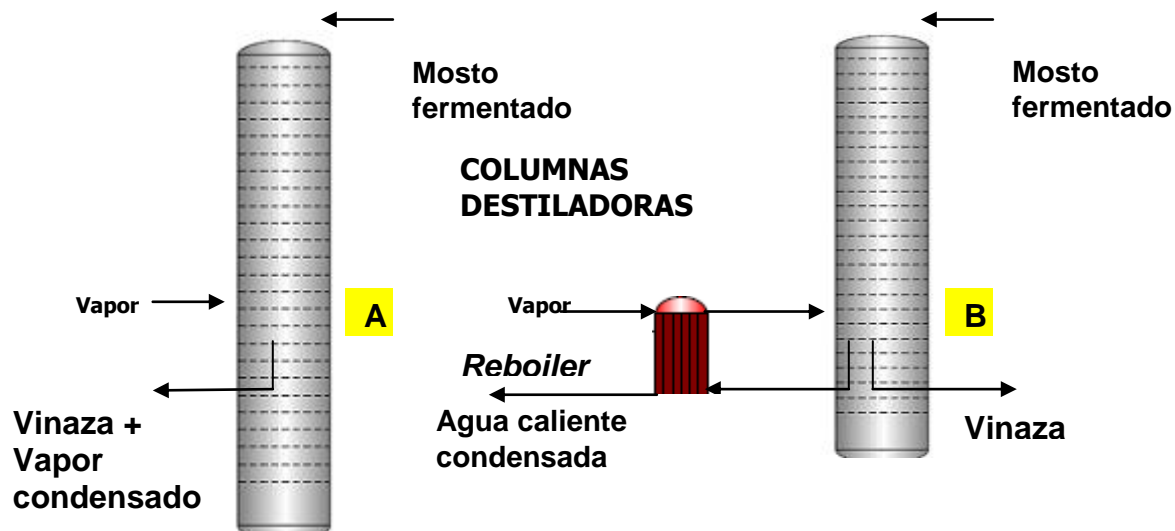


Figura 2. Diferentes formas de destilación del mosto fermentado

Fuente: Elaboración propia

MINIRREVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En la Figura 2 se constata por análisis lógico sencillo que en la forma **A**, las vinazas van acompañadas por el vapor condensado, lo que incrementa su volumen aunque disminuye su carga orgánica por litro, mientras que en la **B** no. En este último caso el agua caliente condensada se incorpora al sistema de generación de vapor, con ahorros de combustible para su generación, al no necesitar de calentamiento previo para alimentarla al generador de vapor.

De las dos posibilidades anteriores, la más complicada es la primera dado a que hay un ente biológico vivo transformador de los azúcares en bioetanol: la levadura, que pone límites a la recirculación de las vinazas.

Pese a que las melazas han sido tradicionalmente el sustrato más empleado en la elaboración de bioetanol, no se norman especificaciones de calidad para la fermentación alcohólica, tocantes a los ácidos volátiles fórmico, acético y butírico entre otros (Obregón-Luna, 2011 a). La producción masiva de bioetanol agrocombustible, ha sido en base a jugos y mieles B principalmente, donde sí aparecen bien establecidas estas. Para la recirculación de las vinazas solo tiene interés la miel B (Obregón-Luna, 2011 a). La Tabla 1 muestra las especificaciones de calidad indicada por una firma internacional en su documentación de oferta. Especifica para 8% de alcohol v/v en el mosto fermentado, si se presenta durante la fermentación que los ácidos volátiles (AV) aumentan de 5 000 ppm <AV <7 000 ppm, la eficiencia en fermentación desciende del 89% al 88%; para 7 000 ppm < AV <10 000 ppm la misma disminuirá a 86% - 87%, que reducirá proporcionalmente la recirculación de de vinaza de acuerdo al programa PD-*recycle* (Inter-Continental Infraproject, 2006). A continuación se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Especificaciones de calidad de la miel b para bioetanol

Parámetro % peso (w/w)	Valor
Sólidos Totales	80 – 82 %
Azúcares fermentables (AF)	60 % mínimo
Azucareos infermentables	2 – 3 %
Azúcares Reductores Totales	62 – 63%
Ácidos volátiles	< 5 000 ppm
Ácido butírico	< 140 ppm

ppm: mg/kg

MINIRREVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Una ecuación de estimación del contenido de AV permisible sin afectaciones a la eficiencia en fermentación alcohólica, que debe caracterizar la fermentación con el mosto miel B y vinazas; se estableció un valor redondeado de datos publicados (Obregón-Luna, 2011 a), y resultó como sigue:

$$\text{ppm AV en miel B diluida} + \text{ppm AV en vinaza recirculada} \leq 1\ 100 \text{ ppm AV}$$

Esta expresión no puede afirmarse como absoluta, porque son tales las complejidades de cualquier fermentación de mostos con células vivas, que limita cualquier conjetura al respecto. De hecho, se ha publicado que en una usina comienza la afectación a 3 000 ppm AV (Gallego-Gil, 2007). No obstante, al menos brinda la posibilidad ante cualquier contingencia en el proceso biotecnológico industrial o en investigaciones a escala menor; de disponer de esta sencilla ecuación de estimación preliminar, en la conveniencia o no de mantener o reducir la recirculación de vinazas. Para demostrar la utilidad de ello, si el contenido de AV en la miel B diluida con agua es 1 100 ppm o mayor, hace impracticable la recirculación de vinaza.

A ello se adiciona lo que otra firma expone: que la recirculación de vinazas reduce las contaminaciones bacterianas debido a que al trabajar a concentraciones más alta, decrece la actividad acuosa fuera del rango necesario para el desarrollo de estas; disminuye el consumo de nutrientes por aprovechamiento de las sales no utilizadas; el insumo de ácido sulfúrico para el ajuste de pH, dado a que las vinazas son ácidas y tienen generalmente pH por debajo de 6,0 a diferencia del agua que registra 7,0 (Thomsa-Destil, 2014). También se encuentran informaciones más precisas, donde se expone que se recircula hasta el 70% de las vinazas y no se consume agua para la dilución de la materia prima concentrada (PRAJ, 2014). En fin, que las entidades corporativas que defienden y ofertan la recirculación de las vinazas, dentro del paquete tecnológico de producción de alcohol agrocombustible, exaltan las bondades de la misma. Sin embargo, un análisis científico a lo descrito, permite determinar que pese a los innegables beneficios que manifiesta en la mitigación del impacto ambiental, como externalidad de la producción de etanol carburante; presenta las siguientes debilidades:

MINIRREVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

- La recirculación de vinazas para reducir volúmenes generados e impacto ambiental nocivo, no es una tecnología infalible.
- Aunque se aplica de forma significativa en la producción de alcohol agrocombustible con miel B entre otros sustratos concentrados, se tiene que disponer en la misma destilería de otras alternativas mitigantes de la contaminación, a los efectos de evitar su paralización y riesgo de penalidades financieras de indemnización, de acuerdo a la legislación medioambiental de cada país; toda vez que no se puede recircular el 100% de las originadas.
- Cada fábrica debe tener además, un *stock* de varias cepas de levadura de alta y de baja, que permita según las circunstancias, lugar y momento; tener opciones de minimizar afectaciones productivas y económicas sin riesgos medioambientales, mediante el cambio del modelo biológico vivo empleado en la fermentación.
- El concepto de sostenibilidad tiene varios componentes esenciales indisolublemente ligados para cualquier ingeniería: las garantías de las factibilidades técnico-económica, social, cultural y medioambiental.

CONCLUSIONES

Utilizada en las tecnologías actuales de producción de bioetanol agrocombustible principalmente, con sustratos concentrados como la miel B de caña de azúcar, la recirculación de vinazas es un procedimiento que ahorra agua, reduce volúmenes generados y obtiene otros beneficios económicos que amortizan los gastos en que se incurre. Representa una de las alternativas de mitigación del impacto ambiental de este residual líquido como externalidad de la producción de alcohol. No obstante, no es una tecnología infalible, principalmente asociado al aumento de los ácidos volátiles en el mosto que se fermenta, por una parte y, por otra, en el presente es inalcanzable su total recirculación al proceso fermentativo alcohólico, por lo que resulta una solución útil parcial. No puede ser la única disposición final de las vinazas que disponga cada destilería. El fertirriego -el más empleado- y el compostaje, entre otros, resultan soluciones aplicables. Se puntualiza que la recirculación de vinazas no es solo regresarla al proceso fermentativo alcohólico,

MINIRREVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

sino que cada planta de bioetanol debe disponer de un *stock* de cepas de levadura *Saccharomyces spp.* caracterizadas o precisado lugar donde adquirirla, que flexibilice la operación fabril mediante el cambio de esta, de ser pertinente en dicho proceso, para contrarrestar afectaciones no deseadas. Por último, los componentes económico, social, cultural y medio ambiental no pueden ser obviados en lo más mínimo para su sostenibilidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Albers, M. (2007). *Concentração de vinhaça*. Dedini/Vogelbusch. Recuperado de: www.dedini.co.br

Castro Díaz-Balart, F. (2002). *Ciencia, innovación y futuro*. España: Grupo Editorial Random House Mondadori, S. L. ISBN: 84-253-3650-3.

Castro-Moreno, G. A. (2014). *Recirculación de vinazas en la fermentación Alcohólica*. España: Editorial Académica Española. ISBN: 978-3-659-0834-4.

CATIC. (2006). *300 000 L/day Molasses Fuel Alcohol*. República Popular China: Catic Beijing Company. Catalogue.

Conferencia Provincial de la Asociación de Técnicos Azucareros de Cuba (ATAC). Presentación Power Point, 32 diapositivas.

Dazar, T. et al. (2014). R06. Evaluación del uso de flemazas y condensados de vinaza como agua de dilución en la fermentación de mieles de caña de azúcar. *Revista Hechos Microbiológicos*. Colombia: Universidad de Antioquia. ISSN: 2145-8898.

De la Cruz, R. (2002). *Aplicación del Análisis Complejo de Procesos en el estudio de alternativas de integración de un Complejo Agroindustrial Azucarero y una Planta de Alcohol*. Tesis para la opción del grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Santa Clara, Cuba.

Gallego-Gil, C. M. (2007). *Influencia de la acidez volátil en el proceso de Fermentación de la planta de alcohol del ingenio Risaralda S. A.* Código 42.029.525. Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira.

Inter-Continental Infraprojects (P) Ltd. (2006). *Proposal for 300,000 Lit/Day Destillery*. India. Documentos internos del Ministerio del Azúcar, Cuba.

Montoya, M. I. et al. (2006). Evaluación del impacto ambiental del proceso de

MINIRREVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

obtención de alcohol carburante utilizando el algoritmo de reducción de residuos. *Revista Facultad de Ingeniería*. Colombia: Universidad de Antioquia. ISSN: 0120-6230.

Obregón-Luna, J. J. (2000). *Procedimiento de diagnóstico y evaluación de contaminaciones. Caso destilería "Paraíso"*. Sancti Spíritus. Memorias.

Obregón-Luna, J. J. (2009). *Vinazas de sustratos fermentados y destilados de caña de azúcar: estado del arte de utilizations*. Recuperado de: <http://www.monografias.com/trabajos71/vinazas-sustratos-fermentados-cana-azucar/vinazas-sustratos-fermentados-cana-azucar.shtml>

Obregón-Luna, J. J. (2011a). Especificaciones de calidad de materias primas originadas de la caña de azúcar (II). Análisis de las correspondientes a la miel B para producir alcohol y otros usos. *Revista Ingeniería Química*, (497), Septiembre. España: Editorial Alción S. A. ISSN: 0210-2064.

Obregón-Luna, J. J. (2011b). Especificaciones de calidad de materias primas originadas de la caña de azúcar (y III). Análisis de las correspondientes a la melaza para producir alcohol y otros usos. *Revista Ingeniería Química*, (498), Octubre. España: Editorial Alción S. A. ISSN: 0210-2064.

Obregón-Luna, J. J. (2012). *Manual del bioetanol de la caña de azúcar*. Universidad de Sancti Spíritus "José Martí Pérez", Cuba. (Proyecto en ejecución).

PRAJ. (2014). *El Poder De Cinco*. Recuperado de: www.praj.net

Thomsa-Destil S. L. (2014). *Destilerías, Licorerías, Química fina*. España. Recuperado de: www.tomsa.es

Valsechi, O. (2007). *Manejo de vinaza en Brasil: experiencias y lecciones aprendidas*. Seminario de Vinazas Usos y Tratamientos. Guatemala. Recuperado de: www.cca.ufscar.br

Recibido: 27/03/2017

Aceptado: 25/04/2017