



USO DE LA ENERGÍA EN LA AGRICULTURA *USE OF THE ENERGY IN AGRICULTURE*



<http://opn.to/a/qDeCg>

ORIGINAL ARTICLE | ARTÍCULO ORIGINAL

Energetic and Environmental Integration in Factories of Sugar Cane Byproducts

Integración energética y ambiental de las fábricas de subproductos de la caña de azúcar

MSc. Dania Alonso-Estrada^{1*}; Dr.C. Manuel Díaz-de los Ríos¹; Mr.Dongrui Zhan¹¹; Ms. Jinghai Jian¹¹; Ms. Qi Zhang¹¹, Ms. Saihua Wang¹¹

¹ Cuban Research Institute of Sugar Cane By-products, Havana, Cuba

¹¹ Tsinghua Innovation Center in Dongguan Biorefinery Engineering Research Center, Dongguan China¹¹

ABSTRACT. Anaerobic treatment is an alternative to treat residual of the ethanol production process to produce biogas as renewable energy. The purpose of this study is the use of Microsoft Excel, Solver and SolverTable add-ins for the simulation of processes in an agroindustrial complex. It is formed by a torula yeast plant that operates with vinasse as a carbon source and the production of biogas using digesters of the UASB type for the management of some vinasse and the residual of the process of torula yeast production. The study considers an ethanol production capacity of 90,000 L/d and a maximum yeast production of 30 t/d. The results show that the energy demand of a production of 17 t/d of yeast can be satisfied by the generation of biogas and a waste out COD concentration between 11 and 17 kg/m³.

Keywords: bioethanol waste, torula yeast waste, biogas.

RESUMEN. El tratamiento anaeróbico es una alternativa de tratamiento del residuo del proceso de producción de etanol para producir biogás como energía renovable. El propósito de este estudio es la simulación con Microsoft Excel y los complementos Solver y SolverTable de un complejo agroindustrial formado por una planta de levadura torula que opera con vinaza como fuente de carbono y la producción de biogás utilizando digestores del Tipo UASB para el manejo de una parte de la vinaza y el residuo del proceso de producción de levadura torula. El estudio considera una capacidad de producción de etanol de 90,000 L / dy una producción máxima de levadura de 30 t/d. Los resultados muestran que la demanda de energía de una producción de 17 t/d de levadura puede satisfacerse mediante la generación de biogás y se obtiene una concentración de DQO a la salida que oscila entre 11 y 17 kg / m³.

Palabras clave: residuos de bioetanol, residuos de levadura torula, biogás.

INTRODUCTION

The use of sugar cane industry wastes has been widely researched by many authors. As sugar cane, bagasse is mainly used in energy cogeneration and the filter cake has a wider use in composting; vinasse from distilleries have found an excellent opportunity for biogas production, although their

INTRODUCCIÓN

El uso de los desechos de la industria de la caña de azúcar ha sido ampliamente investigado por muchos autores. Como el bagazo de la caña de azúcar se usa principalmente en la cogeneración energética y la torta de filtro tiene un uso más amplio en el compostaje; las vinazas de las destilerías han encontrado una excelente oportunidad

*Author for correspondence: Dania Alonso-Estrada, e-mail: dania.alonso@icidca.azcuba.cu

Received: 15/12/2019.

Approved: 13/03/2020.

most widespread use in Cuba and Brazil continues being the cane fertilization and irrigation.

A comparative study on biogas production potential of various wastes resulting from the sugar cane industry in Brazil was presented by Janke *et al.* (2015). In their work different types of wastes, such as vinasse, bagasse and filter cake are evaluated from the kinetic point of view. In the case of vinasse, they conclude that the methane potential is in the order of 246-302 ml CH₄/g COD, depending on the distillery (independent or attached to a sugar mill) and the results fit to a first order kinetic model.

Mathematical modeling of the anaerobic digestion process is a very useful tool to predict the potential of biogas production and the behavior of the biogas reactor. Several types of models have been reported in the literature depending on the research objective. An excellent review of existing kinetic models for anaerobic digestion systems was presented by Lyberatos & Skiadas (1999). Although kinetic modelling is beyond this study, it is necessary to evaluate the advances in vinasse and yeast waste in this field and biogas potential forecasting in those wastes.

Basic research on kinetic of biogas production from vinasse, using modified Gomperts model with variation of COD:N relation in batch anaerobic digestion was presented by Budiyo *et al.* (2013) and Syaichurrozi & Sumardiono (2013). They found that variation of COD:N ratio affected parameters of kinetic model for biogas production; COD:N relation of 600:7, was the best ratio with values of both biogas production potential and minimum time to produce biogas of 109-132.6 mL biogas/gCOD and 0.803 day, respectively. Another studies (Budiyo & Sumardiono, 2014a), were directed to evaluate the influence of initial pH in batch anaerobic digestion and the total solid content on biogas production rate (Budiyo and Sumardiono, 2014b). Best results were showed at pH 7 with a biogas potential of 6,49 mL biogas/g VS, while vinasse: water ratio of 1:3 produced the maximum total biogas (37.409 mL/g COD); although vinasse: water ratio of 1:2 had the biggest COD removal.

Temperature effects on the methane genesis and sulfate reduction of distilleries vinasse was investigated in up-flow anaerobic sludge blanket reactors (UASB) at 35, 45, and 55 °C by Castro and Durán (2002). Their work concluded that temperature has a positive effect on the generation of methane by the methanogenic bacteria in the range studied, whereas H₂S generation remains constant, indicating that sulfate-reducing bacteria activity is neither increased nor diminished due to temperature effects. First order kinetics model was fitted to all runs.

Research on the kinetics of biogas from various substrates has shown that the most important variables in both, the process control and the levels of organic matter removal, are the pH of the medium, temperature, organic loading rate (OLR), hydraulic retention time (HRT), the nutrient content and effluent: inoculum ratio. Therefore, researches have been focused to these aspects and toward the design and evaluation of different types of reactors (Sosa *et al.*, 2014).

para la producción de biogás, aunque su uso más extendido en Cuba y Brasil sigue siendo la fertilización y el riego de la caña.

Janke *et al.* (2015), in their work different types presentaron un estudio comparativo sobre el potencial de producción de biogás de varios desechos resultantes de la industria de la caña de azúcar en Brasil. En su trabajo, se evalúan diferentes tipos de desechos, como vinaza, bagazo y torta de filtro desde el punto de vista cinético. En el caso de la vinaza, concluyen que el potencial de metano es del orden de 246-302 ml de CH₄/g DQO, dependiendo de la destilería (independiente o anexa a un ingenio azucarero) y los resultados se ajustan a un modelo cinético de primer orden.

La modelación matemática del proceso de digestión anaeróbica es una herramienta muy útil para predecir el potencial de producción de biogás y el comportamiento del reactor de biogás. Se han reportado varios tipos de modelos en la literatura dependiendo del objetivo. Lyberatos & Skiadas (1999), presentaron una excelente revisión de los modelos cinéticos existentes para los sistemas de digestión anaerobia. Aunque la investigación cinética está más allá de este estudio, es necesario evaluar los avances para vinaza y residual de levadura en este campo y el pronóstico del potencial de biogás en esos residuos.

(Budiyo *et al.*, 2013; Syaichurrozi & Sumardiono, 2013), presentaron una investigación básica sobre la cinética de la producción de biogás a partir de vinaza utilizando el modelo Gomperts modificado con variación de la relación DQO: N en la digestión anaeróbica por lotes. Encontraron que la variación de la relación DQO: N afectó los valores de los parámetros del modelo cinético de producción de biogás; la relación DQO: N de 600:7 fue la mejor relación con valores del potencial de producción de biogás de 109-132,6 ml de biogás/g DQO y el tiempo mínimo para producir biogás de 0,803 días. Otros estudios de (Budiyo & Sumardiono, 2014a), fueron dirigidos a evaluar la influencia del pH inicial en la digestión anaeróbica por lotes y la influencia del contenido de sólidos totales en la de producción de biogás (Budiyo y Sumardiono, 2014b). Los mejores resultados se mostraron a un pH de 7 con un potencial de biogás de 6,49 ml de biogás/gVS, mientras que la relación vinaza: agua de 1:3 produjo el máximo de biogás (37.409 ml/g de DQO); aunque la relación vinaza: agua de 1:2 logró la mayor reducción de DQO.

(Castro y Durán, 2002), investigaron los efectos de la temperatura sobre la metanogénesis y la reducción de sulfato en la vinaza de la destilería con reactores de manto de lodos anaerobios de flujo ascendente (UASB) a 35, 45 y 55 °C. La temperatura tiene un efecto positivo en la generación de metano por las bacterias metanogénicas en el rango estudiado, mientras que la generación de H₂S permanece constante, lo que indica que la actividad de las bacterias sulfato reductoras no aumenta ni disminuye debido a los efectos de la temperatura. Un modelo cinético de primer orden se ajustó a todas las corridas.

La investigación sobre la cinética del biogás para varios sustratos ha demostrado que las variables más importantes tanto en el control del proceso, como en la obtención de altos niveles de eliminación de materia orgánica son el pH del medio, la temperatura, la carga orgánica (OLR), el tiempo de retención hidráulica (HRT), el contenido de nutrientes y la relación efluente: inóculo; por lo tanto, las investigaciones se han dirigido en estas direcciones y al diseño y evaluación de diferentes tipos de reactores (Sosa *et al.*, 2014).

El reactor (UASB) es el digestor anaeróbico más popular probado para este tipo de aguas residuales, aunque también

UASB reactor is the most popular anaerobic digester tested for this kind of wastewater, although there are other reactors configuration and combined treatment methods which have been also considered (Sosa *et al.*, 2014).

Several studies on the biogas production from vinasse have been developed in Cuba. Cabrera and Díaz (2013) investigated the production of biogas in an anaerobic up-flow packaging filter of 3.4 L of capacity using organic loads between 1.9 to 19.9 g COD / L.d and different hydraulic retention times. The COD removal percentages were shown to be inversely proportional to the load applied and about 70 % COD of removal can be obtained if either loads of 5 g COD/L.d and TRH of 1 day or 16 g COD/L.d for 2 days of TRH are applied. Nevertheless, the biogas potential from *Candida utilis* yeast wastewater has received poor attention due its low DBO content (7400 mg/L) as result of the aerobic process of yeast production itself. Some researchers have evaluated different alternatives to treat wastewater coming from the baker's yeast production (Zub *et al.*, 2008), including anaerobic digestion at industrial scale (Sirbu and Begea, 2011). Wastewaters from baker's yeast production are sulfate-containing waste, so many studies on anaerobic digestion of these waste have led to the sulfate removal in them (Krapivina *et al.*, 2007; Zub *et al.*, 2008)

For the purpose of this work, models focused on evaluating the potential of biogas production are recommended. Simple ways to calculate the biogas production from organic matter are the models of Buswell & Mueller (1952), Boyle (1977) or Chernicharo (2007), because those are time independent models based on data about organic matter composition. All those models have been used for steady state simulation of biogas production from different substrates.

This study, by means of process simulation, considers the incorporation of a biogas plant for processing the waste in a yeast plant attached to a distillery, which utilizes vinasse as carbon source for yeast production.

METHODS

The study considers an ethanol production capacity of 90,000 L/d and a maximum yeast production of 30 t/d. Microsoft excel, Solver add-in and Solver table add-in were used for process simulation and sensitivity studies. Table 1 shows the process conditions considered during the simulation

se han considerado otros reactores y métodos de tratamiento combinados (Sosa *et al.*, 2014).

Varios estudios sobre la producción de biogás a partir de vinaza se han desarrollado en Cuba. (Cabrera y Díaz, 2013) investigaron la producción de biogás en un filtro de empaque de flujo ascendente anaeróbico de 3.4 L de capacidad utilizando cargas orgánicas entre 1.9 a 19.9 g COD / L.d y diferentes tiempos de retención hidráulica. Se demostró que los porcentajes de eliminación de DQO son inversamente proporcionales a la carga aplicada y que se puede obtener aproximadamente un 70% de reducción de DQO si se aplican cargas de 5 g DQO/Ld y TRH de 1 día o 16 g DQO/L.d durante 2 días de TRH. Sin embargo, el potencial de biogás del agua residual de la producción de levadura *Candida utilis* ha recibido poca atención debido a su bajo contenido de DBO (7400 mg/L) como resultado del proceso aeróbico de la producción de levadura en sí. Algunos investigadores se han dedicado a evaluar diferentes alternativas para el tratamiento de aguas residuales provenientes de la producción de levadura de panadera; (Zub *et al.*, 2008), incluida la digestión anaerobia a escala industrial (Sirbu y Begea, 2011). Las aguas residuales de la producción de levadura panadera son desechos que contienen sulfato, por lo que muchos estudios sobre la digestión anaeróbica de estos desechos se han dirigido a la eliminación de sulfato en estas (Krapivina *et al.*, 2007; Zub *et al.*, 2008).

Para el propósito de este trabajo, se recomiendan modelos dirigidos a evaluar el potencial de producción de biogás. Las formas más simples de calcular la producción de biogás a partir de la materia orgánica se basa en modelos de Buswell & Mueller (1952); Boyle (1977) o Chernicharo (2007), porque son modelos independientes del tiempo basados en datos sobre composición global de la materia orgánica. Todos esos modelos se han utilizado para la simulación en estado estacionario de la producción de biogás a partir de diferentes sustratos.

Este estudio, mediante la simulación de procesos, considera la incorporación de una planta de biogás para procesar los desechos en una planta de levadura adjunta a una destilería, que emplea la vinaza como fuente de carbono para la producción de levadura.

MÉTODOS

El estudio considera una capacidad de producción de etanol de 90,000 L/d y una producción máxima de levadura de 30 t/d. Para la simulación del proceso y los análisis de sensibilidad se empleó Microsoft Excel y los complementos Solver y Solver-table respectivamente. La Tabla 1 muestra las condiciones del proceso consideradas durante la simulación.

TABLE 1. Characteristics of process plants considered in the simulation
TABLA 1. Características de las plantas consideradas en la simulación

Parameters	Industry		
	Distillery	Yeast plant	Biogas plant
Plant capacity	90000 L/d	6-30 t/d	According waste volume
Waste water flow	16 L/L of ethanol	100 -200 m ³ /t	120-130 L/m ³
Waste COD (kg/m ³)	50-70	14-20	Simulated Simulated
Percent of COD removed		60	30-55

The Mathematical model considered both the mass and organic solid balances in each process step for the three plants.

These are expressed by the following equations:

Mass balance

$$\sum_{k=1}^2 \left\{ \sum_{j=1}^M \left[\sum_{i=1}^{N1} F_{ij}^{in} - \sum_{i=1}^{N2} F_{ij}^{out} \right] \right\} = 0$$

$$F_{vt} - F_{vb} - F_{vy} = 0$$

Carbon balance

$$\sum_{k=1}^2 \left\{ \sum_{j=1}^M \left[\sum_{i=1}^{N1} F_{ij}^{in} \cdot C_{ij}^{in} / d_i - \sum_{i=1}^{N2} F_{ij}^{out} \cdot C_{ij}^{out} \right] \right\} = 0$$

Energy balance can be expressed through the following equation:

$$E_p - E_d - E_e - E_g \geq 0$$

Methane production is estimated according to (Chernicharo, 2007), while biogas generation considered 60% of methane content.

$$V_{CH_4} = \frac{COD_{CH_4}}{K(t)}$$

$$K(t) = \frac{P \cdot K}{R \cdot (273 + T)}$$

Where:

k: Plant number (yeast and biogas)

N1: Number of inlet stream in each process stage

N2: Number of outlet stream in each process stage

M: Number of process stage in each plant

$F_{ij}^{in}, F_{ij}^{out}$: Inlet and outlet streams (i) in the js process stages (kg/h)

Fvt: Total vinasse flow (kg/h)

$C_{ij}^{in}, C_{ij}^{out}$: Inlet and outlet concentrations related with different streams in js process stages (carbon concentrations). (kg/m³)

di: Density of flow (kg/m³)

Fvt, Fvb, Fvy: Vinasse total flow, flow used in biogas generation and flow used in yeast production, respectively.

Ep: Energy generated by biogas plant

Es: Energy used in yeast drying

Ee: Electric Energy used in the yeast plant

Eg: Electricity exported to the network.

V_{CH_4} : Volume of methane production (L)

COD_{CH_4} : Load of COD removed from the reactor and converted into methane (gCOD)

K(t): Correction factor for the operational temperature of the reactor (gCOD/L)

R: gas constant (0,08206 atm.L/mol.°K)

P: atmospheric pressure (1 atm)

T: operational temperature of the reactor (°C)

K: COD corresponding to 1mol of CH₄ (64gCOD/mol)

El modelo matemático consideró los balances de masa y de carbono en cada paso del proceso para las tres plantas. Estos se expresan mediante las siguientes ecuaciones:

Balance de masa

$$\sum_{k=1}^2 \left\{ \sum_{j=1}^M \left[\sum_{i=1}^{N1} F_{ij}^{in} - \sum_{i=1}^{N2} F_{ij}^{out} \right] \right\} = 0$$

$$F_{vt} - F_{vb} - F_{vy} = 0$$

Balance de carbono

$$\sum_{k=1}^2 \left\{ \sum_{j=1}^M \left[\sum_{i=1}^{N1} F_{ij}^{in} \cdot C_{ij}^{in} / d_i - \sum_{i=1}^{N2} F_{ij}^{out} \cdot C_{ij}^{out} \right] \right\} = 0$$

Balance energético expresado mediante la siguiente ecuación:

La producción de metano se estima según (Chernicharo, 2007), mientras que la generación de biogás se considera un el 60% de metano.

$$V_{CH_4} = \frac{COD_{CH_4}}{K(t)}$$

$$K(t) = \frac{P \cdot K}{R \cdot (273 + T)}$$

dónde:

k: número de planta (levadura y biogás)

N1: número de corriente de entrada en cada etapa del proceso

N2: número de corriente de salida en cada etapa del proceso

M: número de etapas del proceso en cada planta

$F_{ij}^{in}, F_{ij}^{out}$: Flujos de entrada y salida (i) en las etapas js del proceso (kg / h)

Fvt: flujo total de vinaza (kg / h)

$C_{ij}^{in}, C_{ij}^{out}$: Concentraciones de entrada y salida relacionadas con diferentes corrientes en js etapas de proceso (concentraciones de carbono). (kg / m³)

di: Densidad de flujo (kg / m³)

Fvt, Fvb, Fvy: flujo total de vinaza, flujo que se utiliza en la generación de biogás y en la producción de levadura, respectivamente.

Ep: Energía generada por la planta de biogás.

Es: Energía utilizada en el secado de la levadura

Ee: Energía eléctrica utilizada en la planta de levadura.

Eg: electricidad exportada a la red.

V_{CH_4} : Volumen de producción de metano (L)

COD_{CH_4} : Carga de COD eliminada en el reactor y convertida en metano (gCOD)

K(t): factor de corrección para la temperatura operativa del reactor (gCOD / L)

R: constante de gas (0,08206 atm.L / mol.°K)

P: presión atmosférica (1 atm)

T: temperatura operativa del reactor (°C)

K: DQO correspondiente a un mol de CH₄ (64gCOD / mol)

RESULTS AND DISCUSSIONS

Substrates Characterization

The properties of the two wastewater considered in the analysis are showed in Table 2. It can be seen that there is a great dispersion of values reported for the vinasse as a result of the operation at the distillery with molasses from different sugar mills throughout all the harvest period. COD: BOD ratio for vinasse is $2,34 \pm 1,68$ and $2,41 \pm 1,60$ for yeast wastewater.

The use of distilleries vinasse as carbon source in the production of fodder yeast has a positive impact on the reduction of yeast production costs (replacing molasses), and helps to reduce the vinasse organic load about 60%, so this alternative was set up as a strategy for vinasse treatment.

However, even with the use of vinasse as carbon source, the production of fodder yeast, or torula yeast, as it is also known in Cuba, has competitive disadvantages with soybean meal for animal feeding, given its high production cost due the high levels of energy consumption in the process. The electricity consumption of this production amounts 1300 kWh per ton of yeast, while fuel oil consumption for yeast drying is of 420-430 kg/t of yeast.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de sustratos

Las propiedades de los dos residuales considerados en el análisis se muestran en la tabla 2. Se puede observar que existe una gran dispersión de los valores reportados para la vinaza como resultado de la operación en la destilería con melaza de diferentes ingenios azucareros en todo el periodo de cosecha. La relación DQO: DBO para vinaza es $2,34 \pm 1,68$ y $2,41 \pm 1,60$ para aguas residuales de levadura.

El uso de la vinaza de destilería como fuente de carbono en la producción de levadura forrajera tiene un impacto positivo en la reducción de los costos de producción de levadura (reemplazando la melaza) y ayuda a reducir la carga orgánica de vinaza en aproximadamente un 60%, por lo que esta alternativa se estableció como estrategia para el tratamiento de la vinaza.

Sin embargo, incluso con el uso de vinaza como fuente de carbono, la producción de levadura forrajera o levadura torula, como también se la conoce en Cuba, tiene desventajas competitivas con la harina de soya para la alimentación animal, dado su elevado costo de producción debido a los altos niveles de energía consumidos en el proceso. El consumo de electricidad de esta producción asciende a 1300 kWh por tonelada de levadura, mientras que el consumo de diesel para el secado de levadura es de 420-430 kg/t de levadura.

TABLE 2. Composition of wastewater used in the simulation
TABLA 2. Composición de las aguas residuales utilizadas en la simulación

Parameters	Vinasse		Yeast wastewater	
	Mean	SD	Mean	SD
COD (mg/L)	53738	13548	15824	5477
BOD (mg/L)	22999	8050	6542	3425
Total Nitrogen (mg/L)	272	274	140	90
Total Phosphorus (mg/L)	245	242	589	274
ST (mg/L)	39619	18359	13525	5121
STF (mg/L)	10743	5759	5825	3621
STV (mg/L)	31624	11952	7700	2905
SDT (mg/L)	25218	25563	12390	4620
SDF (mg/L)	6613	7047	5430	3298
SDV (mg/L)	18635	18795	6960	2484
SST (mg/L)	18561	18098	1135	622
SSF (mg/L)	9913	29222	395	402
SSV (mg/L)	14259	13268	740	457
pH	4,22	0,34	5,84	1,94
CE (mS/cm)	11,05	6,76	9,68	1,92

The wastewater resulting from yeast production is about 120-130 m³/t yeast with an organic load of about 15 kg/m³ of COD. Preliminary methanogenic test of this effluent reported that it still has a biogas potential equivalent to 30 % of COD, which could contribute to reduce the energy costs of such production.

Methanogenic test of vinasse is showed in figure 1, where methane production values agree with those obtaining by (Janke *et al.*, 2015).

The interrelation among the three industrial installations it is represented in the block diagram of Figure 2, where the distillery's vinasse it is used in the yeast production, even a

El agua residual resultante de la producción de levadura es de aproximadamente 120-130 m³/t de levadura con una carga orgánica de aproximadamente 15 kg / m³ de DQO. Los ensayos metanogénicos preliminares de este efluente reportan que todavía posee un potencial de biogás equivalente al 30% de la DQO, lo que podría contribuir a reducir los costos de energía de dicha producción.

Los ensayos metanogénicos de la vinaza se muestra en la figura 1, donde los valores de producción de metano concuerdan con los obtenidos por (Janke *et al.*, 2015).

La interrelación entre las tres instalaciones industriales se representa en el diagrama de bloques de la Figura 2, donde la vinaza de la destilería es empleada en la producción de levadura, aun cuando

fraction of it can be used for biogas generation together with the wastewater resulting from the yeast factory. Higher deviation of vinasse flow to biogas production will raise the percent of COD removal in the factory, with the ensuing increased biogas production, due a higher BOD of vinasse, but the production capacity of the yeast plant will be reduced. The biogas produced can optionally be either employed for drying the yeast or to generate electricity for the process. The problem it is to determine the capacity of yeast that makes it competitive with soybean meal.

una fracción de ella puede emplearse para la generación de biogás junto con las aguas residuales resultantes de la fábrica de levadura. Una mayor desviación del flujo de vinaza hacia la producción de biogás aumentará el porcentaje de eliminación de DQO en la fábrica, con el consiguiente aumento de la producción de biogás, debido a la mayor DBO de vinaza, pero la capacidad de producción de la planta de levadura se reducirá. El biogás producido puede emplearse opcionalmente para secar la levadura o para generar electricidad para el proceso. El problema consiste en determinar la capacidad de la levadura que la hace competitiva con la harina de soja.

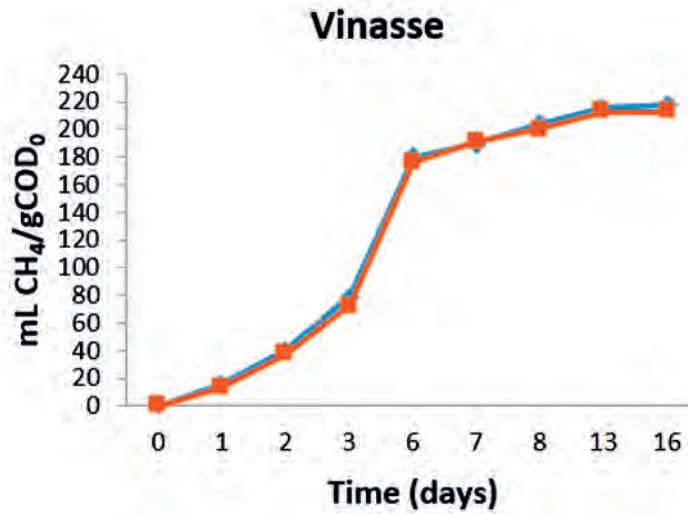


FIGURE 1. Methanogenic test of vinasse from ethanol distillery from molasses.
 FIGURA 1. Prueba metanogénica de vinaza de destilería de etanol de melaza.

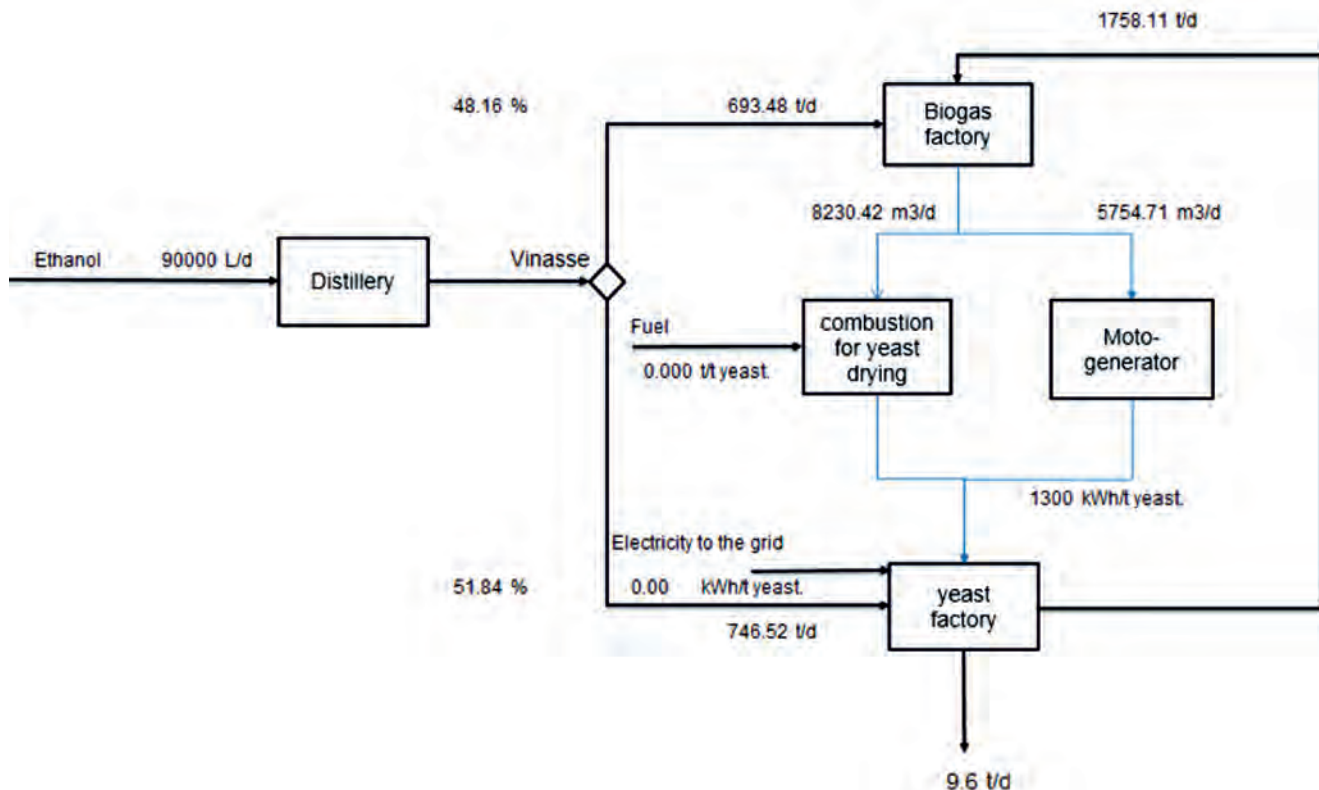


FIGURE 2. Interaction between distillery, yeast plant and biogas plant.
 FIGURA 2. Interacción entre destilería, planta de levadura y planta de biogás.

Steady state simulation results

The maximum feasible yeast production depends on the amount of vinasse generated by the distillery and its organic composition. For a vinasse concentration of 53,7 kg/m³ the maximum capacity of yeast production is about 16.4 t/d at the production cost of 718 cuban pesos (CUP)/t, regardless the existing yeast plant capacity is higher. Therefore, in this case, to further increasing of yeast production is essential an additional carbon source, such as molasses, raising production costs due to its market price.

Preliminary evaluation shows that biogas production with yeasts waste only can satisfy the 38% of the energy required by the process to any percent of yeast capacity utilization, because the volume of yeast waste and its use in biogas production also depends on the production capacity.

An alternative is to shift a fraction of vinasse flow to produce biogas, so that energy contribution from waste (vinasse and yeast waste mixed) is increased and the production cost reduced. The variation of energy contribution from biogas production for various levels of yeast capacity utilization using vinasse of 53,7kg/m³ COD is illustrated in Figure 3.

Resultados de simulación en estado estacionario

La producción máxima de levadura depende de la cantidad de vinaza que se genera por la destilería y su composición orgánica. Para una concentración de vinaza de 53,7 kg/m³, la capacidad máxima de producción de levadura es de aproximadamente 16.4 t/d al costo de producción de 718 pesos cubanos (CUP)/t, independientemente de que la capacidad de la planta de levadura existente sea mayor. Por lo tanto, en este caso, para aumentar aún más la producción de levadura es esencial una fuente de carbono adicional, como la melaza, la que aumentaría los costos de producción, debido a su precio en el mercado.

La evaluación preliminar muestra que la producción de biogás con residuos de levadura solo puede satisfacer el 38% de la energía requerida por el proceso para cualquier nivel de utilización de la capacidad de la planta de levadura, porque el volumen de residual de la producción de levadura y su empleo en la producción de biogás también depende de la capacidad de producción.

Una alternativa es desviar una fracción del flujo de vinaza para producir biogás, de modo que aumente la contribución de energía del residual (vinaza y residual de levadura mezclados) y se reduzca el costo de producción. La Figura 3 ilustra la variación del aporte energético de la producción de biogás para varios niveles de utilización de la capacidad de producción de levadura utilizando vinaza de 53,7 kg / m³ de DQO.

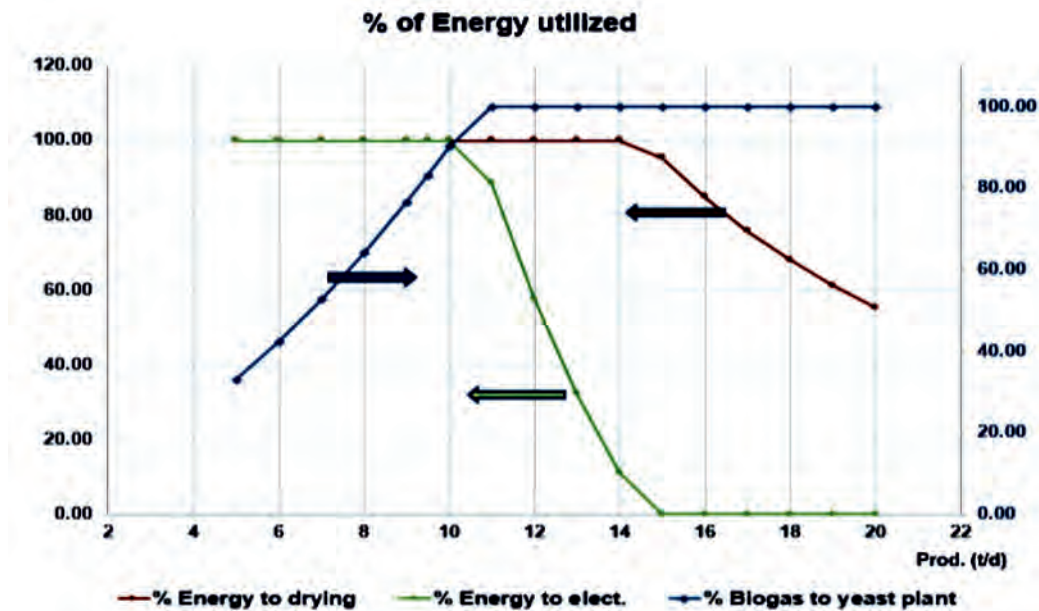


FIGURE 3. Energy level can be satisfied in yeast production with the capacity increased.
 FIGURA 3. El nivel de energía se puede satisfacer en la producción de levadura con el aumento de la capacidad.

It is evident that while the capacity does not exceed 9,6 t/d of yeast, energy produced may meet 100 % of the energy required with biogas resulting from a mixture of vinasse - yeast waste, and even there it is a surplus of electricity for sale to the grid. Above 9.6 t/d of yeast the satisfaction of energy level decrease, first affecting demand in electricity and subsequently the demand in yeast drying consumption when production capacity exceeds 14t/d.

During the increase of yeast production capacity, the vinasse flow toward biogas production decrease with the con-

Es evidente que, si bien la capacidad no supera las 9,6 t/d de levadura la energía producida, puede satisfacer el 100% de la energía requerida con el empleo del biogás resultante de una mezcla de vinaza - residual de levadura, e incluso obtener un excedente de electricidad para venta a la red. Por encima de 9.6 t/d de levadura, la satisfacción del nivel de energía disminuye y afecta primero la demanda de electricidad y luego la demanda de energía del secado cuando la capacidad de producción excede de 14 t / d.

Durante el aumento de la capacidad de producción de levadura, el flujo de vinaza hacia la producción de biogás disminuye con la

sequently decrease of surplus electricity to the grid. The yeast production capacity of 9,6 t/d may be satisfied with the 51,8% of the vinasse available, while an additional flow of 683,7 m³/d mixed with yeast wastewater is in off to satisfies the 100% of the yeast energy requirement by biogas production, as it is showed in figure 2.

The impact of this approach on yeast production cost is illustrated in Figure 4, where the existence of an optimal cost is observed for the capacity of 9,6 t/d.

consiguiente disminución de la entrega de electricidad a la red. La capacidad de producción de levadura de 9,6 t/d puede satisfacerse con el 51,8% de la vinaza disponible, mientras que un flujo adicional de 683,7 m³/d de vinazas mezclado con aguas residuales de la producción de levadura es suficiente para satisfacer el 100% del requerimiento de energía con la producción de biogás, como se muestra en la figura 2.

El impacto de este enfoque en el costo de producción de levadura se ilustra en la Figura 4, donde se observa la existencia de un costo óptimo para la capacidad de 9,6 t/d.

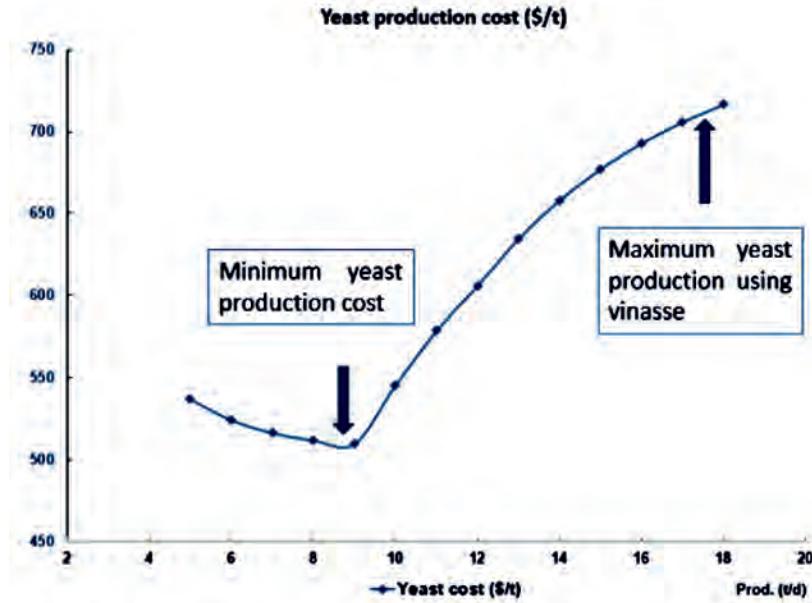


FIGURE 4. Variation of the yeast production cost with increased production capacity.
 FIGURA 4. Variación del costo de producción de levadura con mayor capacidad de producción.

From the environmental point of view, it should be noted that the level of COD removal depends on the mixture vinasse: yeast waste used as it is showed in Figure 5. For low production capacities of yeast, where a significant volume of vinasse can be used for biogas production, the percent COD removal exceeds 50%; however, this drops dramatically to 30 % when the maximum capacity available is reached.

The Input organic concentration to biogas plant will depend on the mix vinasse: yeast waste used, while the output concentration depends on both the input conditions and COD removal percent.

COD concentration at the outlet will be between 11 and 17 kg/m³, values that do not meet the dumping standards, in spite of be low, but allow considers the waste as irrigation water.

Of course, the model evaluated is sensitive to changes in the COD vinasse input, so that if it is raised, to a fixed COD reduction level in the yeast plant, the production potential of yeast and biogas will increase and therefore the energy satisfaction of yeast production.

The inflexion point indicating a minimum cost in figure 5 for the use of vinasse of 53,7 kg/m³ of COD, takes values of 10,51 and 11,9 t/d for use of vinasse of 60 and 70 kg/m³ of COD respectively.

Desde el punto de vista ambiental, debe tenerse en cuenta que el nivel de reducción de DQO depende de la mezcla de vinaza: residual de levadura utilizados como se muestra en la Figura 5. Para bajas capacidades de producción de levadura, donde se puede utilizar un volumen significativo de vinaza para la producción de biogás, el porcentaje de reducción de DQO supera el 50%; sin embargo, este cae dramáticamente al 30% cuando se alcanza la máxima capacidad disponible.

La concentración de materia orgánica de entrada a la planta de biogás dependerá de la mezcla de vinaza: residual de levadura empleada, mientras que la concentración de salida depende de las condiciones de entrada y del porcentaje de reducción de DQO.

La concentración de DQO en la salida estará entre 11 y 17 kg/m³, valores que no cumplen con los estándares nacionales de vertimiento, a pesar de ser bajos, pero permiten considerar los desechos como agua de riego.

Por supuesto, el modelo evaluado es sensible a los cambios en la DQO de entrada de la vinaza, de modo que, si este aumenta, para un valor fijo en la reducción de la DQO en la planta de levadura, el potencial de producción de levadura y biogás aumentará, y por lo tanto, la satisfacción energética de la producción de levadura.

En la Figura 5 se ilustra que el punto de inflexión que indica el costo mínimo para el uso de vinaza de 53,7 kg/m³ de DQO, toma valores de 10,51 y 11,9 t/d para el uso de vinaza de 60 y 70 kg/m³ de DQO respectivamente.

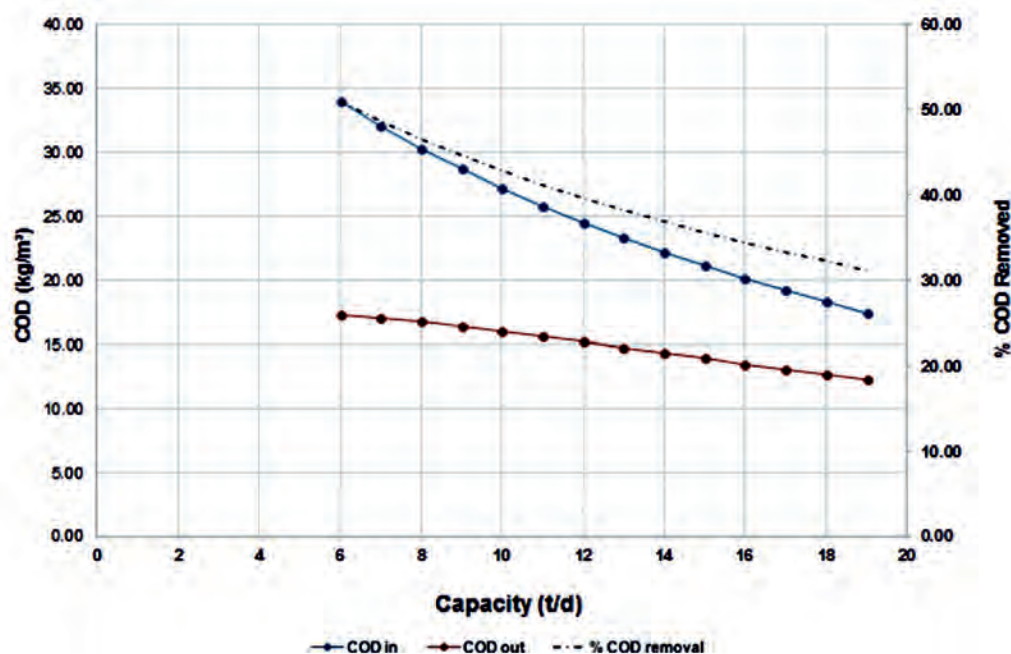


FIGURE 5. Variation of COD removal percent and the outlet of yeast plant (inlet of biogas plant) with increased production capacity.

FIGURA 5. Variación del porcentaje de eliminación de DQO y la salida de la planta de levadura (entrada de la planta de biogás) con mayor capacidad de producción.

CONCLUSIONS

- The mathematical model allowed to evaluate through the balance sheets of mass and organic solids the energetic and environmental interrelation of the production plants of ethanol, torula yeast and the biogas plant.
- For a real capacity of distillery and production process for the capacity of 9,6 installed yeast plants, the existence of an achieved and 100% of the required energy can be substituted with biogas.
- From the environmental point of view, a level of COD elimination is obtained, which ranges between 11 and 17 kg/m³, allow reach a waste making it possible to be considered as irrigation water.

CONCLUSIONES

- El modelo matemático permitió evaluar a través de los balances de masa y sólidos orgánicos, la interrelación energética y ambiental de las plantas de producción de etanol, levadura torula y la producción de biogás.
- Para una capacidad real de destilería y plantas de levadura instaladas, se logra un costo óptimo del proceso de producción de levadura torula para la capacidad de 9,6 t / d y se puede sustituir el 100% de la energía requerida con la generación de biogás.
- Desde el punto de vista medioambiental, se obtiene un nivel de reducción de DQO, para generar un residuo que oscila entre 11 y 17 kg/m³, lo que permite ser considerado como agua de riego

REFERENCES / REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOYLE, W.: "Energy recovery from sanitary landfills-a review", En: *Microbial energy conversion*, Ed. Elsevier, pp. 119-138, 1977.
- BUDIYONO, B.; SUMARDIONO, S.: "Effect of total solid content to biogas production rate from vinasse", *International Journal of Engineering*, 27(2): 177-184, 2014a.
- BUDIYONO, B.; SYAICHURROZI, I.; SUMARDIONO, S.: "Biogas production kinetic from vinasse waste in batch mode anaerobic digestion", *MJS*, 32(2): 2-14, 2013, ISSN: 2600-8688.
- BUDIYONO, I.S.; SUMARDIONO, S.: "Kinetic model of biogas yield production from vinasse at various initial pH: comparison between modified Gompertz model and first order kinetic model", *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 7(13): 2798-2805, 2014b.
- BUSWELL, A.; MUELLER, H.: "Mechanism of methane fermentation", *Industrial & Engineering Chemistry*, 44(3): 550-552, 1952.
- CABRERA, D.A.; DÍAZ, M.M.Á.: "Tratamiento de vinaza cubana en un reactor anaerobio empacado de flujo ascendente", *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 34(2): 41-49, 2013, ISSN: 1680-0338.
- CASTRO, G.A.; DURÁN, de A.M.C.: "Arrhenius equation constants and thermodynamic analysis of CH₄ and H₂S production for the vinasses anaerobic treatment", En: *Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, vol. 28, pp. 1-8, 2002.
- CHERNICHARO, C. de L.: "Anaerobic reactors", *Biological WastewaterTreatment series*, 4: 133-141, 2007.
- JANKE, L.; LEITE, A.; NIKOLAUSZ, M.; SCHMIDT, T.; LIEBETRAU, J.; NELLES, M.; STINNER, W.: "Biogas production from sugarcane waste: assessment on kinetic challenges for process designing", *International journal of molecular sciences*, 16(9): 20685-20703, 2015.

- KRAPIVINA, M.; KURISSOO, T.; BLONSKAJA, V.; ZUB, S.; VILU, R.: "Treatment of sulphate containing yeast wastewater in an anaerobic sequence batch reactor. ", En: *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, Chemistry*, vol. 56, 2007, ISBN: 1406-0124.
- LYBERATOS, G.; SKIADAS, I.: "Modelling of anaerobic digestion—a review", *Global Nest Int J*, 1(2): 63-76, 1999.
- SIRBU, A.; BEGEA, M.: "Wastewaters quality in the anaerobic stage of a treatment plant from a baker's yeast factory", *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 17(4): 375-380, 2011.
- SOSA, V.C.A.; RUSTRIÁN, E.; HOUBRON, E.: "Anaerobic digestion of vinasse cane alcohol: the influence of OLR by a UASB reactor", *J Mod Eng Res*, 4: 37-42, 2014.
- SYAICHURROZI, I.; SUMARDIONO, S.: "Predicting kinetic model of biogas production and biodegradability organic materials: biogas production from vinasse at variation of COD/N ratio", *Bioresource technology*, 149: 390-397, 2013, ISSN: 0960-8524.
- ZUB, S.; KURISSOO, T.; MENERT, A.; BLONSKAJA, V.: "Combined biological treatment of high-sulphate wastewater from yeast production", *Water and Environment Journal*, 22(4): 274-286, 2008, ISSN: 1747-6585.

Dania Alonso-Estrada; Researcher, Cuban Research Institute of Sugar Cane By-products, Havana, Cuba, e-mail: danialonso@icidca.azcuba.cu

Manuel Díaz-de los Ríos; Researcher, Cuban Research Institute of Sugar Cane By-products, Havana, Cuba, e-mail: manuel.diaz@icidca.azcuba.cu

Dongrui Zhan; Researcher, Tsinghua Innovation Center in Dongguan Biorefinery Engineering Research Center, Dongguan China, e-mail: wangsh@tsinghua-smartbiotech.com

Jinghai Jian; Researcher, Tsinghua Innovation Center in Dongguan Biorefinery Engineering Research Center, Dongguan China, e-mail: jianjh@tsinghua-dg.org

Qi Zhang, Researcher, Tsinghua Innovation Center in Dongguan Biorefinery Engineering Research Center, Dongguan China, e-mail: jianjh@tsinghua-dg.org

Saihua Wang, Researcher, Tsinghua Innovation Center in Dongguan Biorefinery Engineering Research Center, Dongguan China, e-mail:

The authors of this work declare no conflict of interests.

This item is under license Reconocimiento-NoComercial de Creative Commons 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0).

The mention of trademarks of specific equipment, instruments or materials is for identification purposes, there being no promotional commitment in relation to them, neither by the authors nor by the publisher.

