

Estrategia de desarrollo de una fábrica de azúcar como biorrefinería incluyendo la producción de pellets para una bioeléctrica

Development strategy of a sugar factory as a biorefinery including the pellets
production for a bioelectric plant

Norlem Liaño-Abascal^{1*} <https://orcid.org/0000-0001-8032-0423>

Misdelki Pérez-Colas¹ <https://orcid.org/0000-0003-1858-705X>

Anialy Prieto-Orta² <https://orcid.org/0009-0000-3161-4839>

Erenio González-Suárez² <https://orcid.org/0000-0001-5741-8959>

¹Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ciencias Aplicadas,
Universidad Ignacio Agramonte Loynaz, Camagüey, Cuba

²Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Química y Farmacia,
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Villa Clara, Cuba

*Autor para correspondencia. Correo electrónico: norlem.liano@reduc.edu.cu

RESUMEN

La extracción del jugo de los filtros en la industria azucarera, posibilita la producción de crema de levadura torula para favorecer la alimentación porcina, permitiendo incrementar la cantidad de bagazo sobrante para utilizarlo en la obtención de xilitol para la industria alimenticia, aprovechando el material lignocelulósico resultante como fuente de energía compactada para la generación de electricidad, bajo el contexto de una biorrefinería. Partiendo de la extracción de jugo de los filtros, torula, y mediante los balances se obtuvieron los incrementos posibles de bagazo sobrante y la integración de las producciones de xilitol y pellets. Se obtuvieron las cantidades de azúcar, miel, bagazo, torula, xilitol y pellets para los diferentes porcentajes de extracción y se analizó el incremento de las ganancias y los indicadores financieros.

El porcentaje de extracción óptimo del jugo de los filtros, en correspondencia con los precios de productos, costo de materias primas y costos de inversión estimados, está en el entorno del 40 %.

Palabras clave: alternativas tecnológicas; jugo de los filtros; levadura torula; xilitol pellet.

ABSTRACT

The extraction of the juice from the filters in the sugar industry enables the production of torula yeast cream to promote swine feeding, allowing the amount of leftover bagasse to be increased to be used to obtain xylitol for the food industry, and to take advantage of the resulting lignocellulosic material as a source of compacted energy for the generation of electricity, in the context of a biorefinery. Assess the alternatives for the production of torula yeast, xylitol and pellets from the extraction of the juice from the filters, considering the context of a biorefinery, for the benefit of swine feeding, the food industry and electricity generation. Starting from the extraction of juice from the filters, the investment and production capacities of torula yeast cream were used, and through the materials and energy balances, the possible increases in leftover bagasse and the integration of the production of xylitol and pellets were obtained. The quantities of sugar, honey, bagasse, torula, xylitol and pellets were obtained for the different extraction rates and the increase in profits and financial indicators were analyzed. With the prices of the products, the cost of raw materials and the investment estimates, the optimal extraction percentage of the juice from the filters is around 40 percent.

Keywords: technological alternatives; filter juice; torula yeast; xylitol pellet.

Recibido: 15/01/2024

Aceptado: 10/04/2024

Introducción

La sociedad cubana necesita cada vez más el empleo de la ciencia en la toma de decisiones y por ello el modelo cubano de gestión de gobierno se basa en la innovación.⁽¹⁾ En el nivel empresarial deben hacerse esfuerzos para plasmar esta política en el contexto específico de cada instalación industrial.⁽²⁾

El empleo integral de la caña de azúcar como materia prima para varios productos ha dado lugar a lo que se ha conocido como su diversificación y más recientemente a su desarrollo como biorrefinería. Para lo cual se han propuesto procedimientos de carácter general^(3, 4) y en específico para los estudios energéticos.⁽⁵⁾

La extracción del jugo de los filtros da la posibilidad de instalar una planta de producción de crema de levadura torula con el objetivo de favorecer a las entidades porcinas y al personal que desarrolla su fuerza laboral en la cría y crecimiento de cerdos, así como una estrecha colaboración y comercialización entre productores y compradores. Dicha extracción, permite un significativo ahorro de portadores energéticos en la producción de azúcar crudo y deja disponible más bagazo de caña de azúcar para ser utilizado como materia prima para nuevas producciones o para otros destinos energéticos.

Son entonces objetivos de este trabajo valorar las posibilidades y alternativas de instalación para nuevas producciones de levadura torula a partir de la extracción en zafra de un por ciento de jugo de los filtros y en no zafra de mieles finales con el propósito de lograr alimento animal para producción de carne de cerdo y también bagazo de caña como materia prima para la obtención de xilitol y el material lignocelulósico resultante para ser peletizado, transportado y utilizado en una bioeléctrica.

Métodos utilizados y condiciones experimentales

La evaluación de alternativas de desarrollo en las instalaciones de la industria de la caña de azúcar debe seguir las sugerencias de la experiencia acumulada y que han sido sintetizadas en un procedimiento para su desarrollo como biorrefinería.⁽³⁾

La extracción del jugo de los filtros permite una proyección de nuevas producciones a partir de esta corriente intermedia y como se ha fundamentado antes, es la producción de crema de levadura torula una de ellas, cuya inversión deberá evaluarse según las normas establecidas,⁽⁶⁾ sin descuidar la

evaluación de inversiones que eleven su disponibilidad operativa, ⁽⁷⁾ lo que ha sido referido como un aspecto importante en la estrategia inversionista en general y en particular para un central como una instalación de derivados. ⁽⁸⁾

Para el estudio se consideraron las alternativas de producción de levadura torula para diferentes mezclas de sustratos estudiadas por algunos autores, ⁽⁹⁾ los cuales incluyeron producción de jugo de los filtros y mieles, y como consecuencia de las condiciones reales de la instalación estudiada, se evaluaron las diferentes posibilidades de extracción de jugo de los filtros y acorde con los resultados reportados de trabajos realizados por otros investigadores, se determinaron las capacidades de producción anual de crema de levadura torula utilizando jugo de los filtros en tiempo de zafra y mieles finales en tiempo de no zafra. ^(10, 11, 12, 13)

Para el análisis de las alternativas de extracción del jugo de los filtros se determinó de los balances de materiales y energía de la instalación de una capacidad de molienda diaria de 4 370 t de caña/d, las posibilidades de disponer de jugo de los filtros para las diferentes por cientos de extracción, con intervalos de 20 % desde 0 hasta 100, lo cual se observa en la tabla 1.

Tabla 1- Disponibilidad de jugo de los filtros para diferentes por cientos de extracción

Extracción de Jugo de los Filtros (%)	Jugo de los Filtros Extraído (t/año)
0	0
20	12 978,9
40	25 957,8
60	38 936,7
80	51 915,6
100	64 894,5

La extracción del jugo de los filtros, como se ha demostrado permite cantidades adicionales de bagazo sobrante de la producción de azúcar durante la zafra y con ello satisfacer necesidades energéticas de otras producciones y también servir de materia prima para otros productos derivados del bagazo como el caso del xilitol. ^(14, 15)

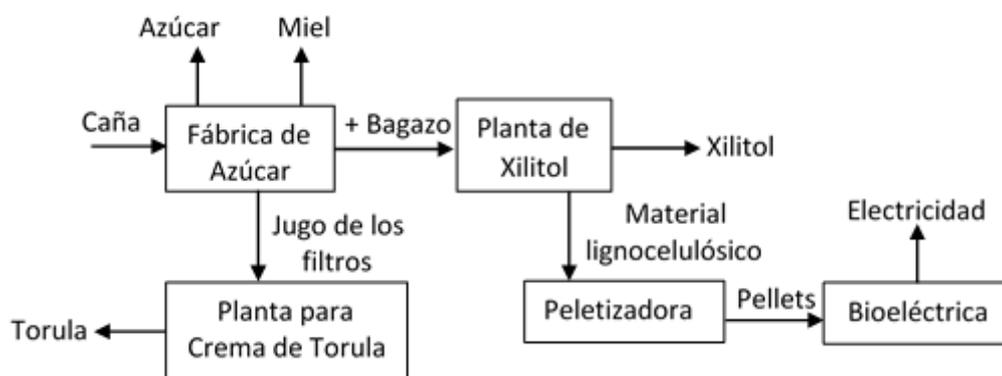


Fig. 1- Esquema tecnológico de la producción de azúcar y las nuevas producciones

La figura 1 se realizó considerando la posibilidad de producir levadura torula a partir de la utilización del jugo extraído de los filtros, xilitol de la hidrólisis ácida del bagazo de caña disponible y la peletización de la biomasa lignocelulósica resultado de esta hidrólisis. El esquema del combinado incluirá: la fábrica de azúcar, la instalación de crema de lavadura torula, otra para la producción de xilitol y una para la peletización.

Mediante los balances de materiales y energía se determinan las variaciones en las producciones principales y el balance de portadores energéticos de acuerdo a lo siguiente para cada por ciento de extracción: producción de azúcar, producción de miel, consumo de vapor, bagazo sobrante en crudo, bagazo consumido planta torula, bagazo sobrante total, producción de crema de torula, producción de xilitol según tecnología de UCLV, producción de pellet según tecnología de Universidad de Camagüey.

Diseño y costo de los equipos fundamentales

Para el estudio de la mejor variante inversionista se estimaron los costos de inversión y de producción de acuerdo a los procedimientos reportados en la literatura científica.^(14, 15, 16) Para los estudios de capacidades de la instalación de una planta de crema de torula, se utilizaron los estudios de una instalación de 40 t/d elaborada por otros integrantes del colectivo de investigación.⁽¹²⁾

Costo del equipamiento y de producción

Los costos de los equipos se obtienen de ⁽¹⁶⁾ y de trabajos anteriores ⁽¹⁵⁾ y fueron actualizados utilizando la Regla de la 0.6 y los índices de costos correspondientes.^(6, 16) Los costos de producción o gastos económicos de la planta, están constituidos por los gastos de materia prima, mano de obra,

requerimientos, mantenimientos y otros. ^(6, 16) Lo anterior permitió hacer el análisis de los indicadores dinámicos para el análisis de alternativas.

Ganancia de las alternativas productivas

En la ganancia del proceso industrial se consideraron las diferentes producciones posibles en cada por ciento de extracción, así como los necesarios insumos para sostener las producciones existentes y la que se introduce de crema de levadura torula, el xilitol y los pellets, es decir: variaciones en la producción de azúcar crudo, de miel final, de levadura torula, de xilitol para el consumo nacional y el aumento del poder calórico de los pellets para la bioeléctrica.

Las condiciones para la optimización del por ciento de extracción del jugo de los filtros se determinó en dos pasos, por un lado, el más alto incremento de la ganancia encontrada y en un segundo paso los indicadores dinámicos.

Resultados y discusión

Como se conoce, la extracción del jugo de los filtros perjudica los niveles de producción de azúcar y miel, aunque aumenta la calidad de ambos productos. ⁽¹²⁾ En un análisis económico esto debe ser considerado sobre todo si se pretende utilizar la miel para otras producciones como es el caso de levadura torula en tiempo de no zafra.

En la tabla 2 se muestran las variaciones, para la instalación estudiada, de las producciones y pérdidas de azúcar crudo y miel cuando se extraen diferentes por cientos de jugo de los filtros del proceso industrial.

Tabla 2- Balance de producción de azúcar y pérdidas en cada caso para diferentes por cientos de extracción del jugo de los filtros

Extracción (%)	Azúcar crudo producida (t/año)	Azúcar perdida (t/año)	Miel final producida (t/año)	Miel final perdida (t/año)
0	24 035,00	0	32 395,00	0
20	23 382,35	731,5	32 273,40	209,00
40	22 686,00	1 358,5	32 150,85	313,50
60	21 989,65	2 090,0	32 028,30	418,00
80	5 826,35	2 926,0	31 559,00	836,00
100	4 660,70	3 657,5	31 350,00	1 045,00

De los resultados de la tabla 2 se infiere que las pérdidas de uno y otro producto son significativas, pero se comprende que una evaluación de la decisión definitiva debe hacerse mediante una optimización económica, que

considere adicionalmente los benéficos que las extracciones de los jugos de los filtros facilitan.

Por otro lado, el impacto del por ciento de extracción del jugo de los filtros en los portadores energéticos para garantizar la producción de levadura torula se muestran en la tabla 3, donde se observa que se beneficia la disponibilidad de biomasa como materia prima para la producción de xilitol y el material lignocelulósico resultante como recurso energético.

Tabla 3- Impacto de la extracción del jugo de los filtros en los portadores energéticos

Extracción (%)	Consumo de Vapor (t/año)	Bagazo Sobrante Crudo(t/año)	Bagazo Consumido Planta Torula (t/año)	Bagazo Sobrante Para Xilitol Total (t/año)
0	7 291 931,62	18 050,29	0	18 050,29
20	7 085 154,34	100 866,53	48 122,25	52 744,29
40	6 878 378,10	201 733,07	97 206,95	104 526,13
60	6 671 601,86	302 599,61	146 291,64	156 307,96
80	6 464 825,62	403 466,14	195 376,34	208 089,81
100	6 258 049,38	504 332,68	244 461,03	259 871,65

De los resultados mostrados en la tabla 3 se observa que en la medida que se aumenta la extracción del jugo de los filtros existe mayor cantidad de bagazo sobrante para otros propósitos que en el caso actual se debe enfocar para garantizar la materia prima para la producción de xilitol y pellets para ser utilizados como recursos energéticos de fuente renovable con menores costos de transportación a una bioeléctrica. ^(17, 18)

Las posibilidades de producción de crema de levadura torula estarán dadas por los niveles de extracción del jugo de los filtros como se muestran en la tabla 4, en la que también se ha considerado la inversión en la nueva instalación con apoyo de la regla 0.6 teniendo como referencia la valoración reportada por la literatura ⁽¹⁹⁾ de 7 797 596,34 CUP para una instalación de 40 t/d.

Tabla 4- Capacidad de producción de crema de levadura Torula para cada por ciento de extracción del jugo de los filtros y valor de la inversión de la planta

Extracción de jugo de los filtros (%)	Jugo de los filtros extraído (t/año)	Producción total de crema de levadura torula (t/a)	Valor de la inversión en la planta de torula
0	0	0	0
20	12 978,9	15 675,0	8 644 520,73
40	25 957,8	31 663,5	13 181 102,64
60	38 936,7	47 652,0	16 844 769,41
80	51 915,6	63 640,5	20 038 100,03
100	64 894,5	79 629,0	22 922 350,43

De acuerdo con ⁽²⁰⁾ para un reactor de 10 litros de capacidad, se obtiene un rendimiento de xilitol de hasta 14 % en peso del producto por cada tonelada de bagazo utilizado, con una pérdida de peso en la masa de material lignocelulósico de 30 %. En resultados de laboratorio se había logrado una remoción del xilitol en el bagazo fresco a un nivel superior al 73 %, ⁽²¹⁾ de su presencia inicial, lo que pudiera explicarse por pérdidas en la manipulación y quizás exactitud al incrementar la escala experimental. No obstante lo anterior, algunos autores recomiendan como índice de cálculo un valor más conservador, de 1 t de cristales de xilitol por cada 10 t de bagazo procesados, como resultado de la hidrólisis ácida. ⁽²²⁾

Por ello, se pueden estimar, como se expresan en la tabla 5, la producción de cristales del producto para cada por ciento de extracción del jugo de los filtros, también se ha considerado la inversión en la nueva instalación productora de xilitol con apoyo de la regla 0,6 según ⁽¹⁵⁾ de 398 309 000 CUP para una instalación de 4,26 t/d.

Tabla 5- Posibilidades de producción de Xilitol por cada por ciento de extracción del jugo de los filtros

Extracción (%)	Bazo disponible (t/a)	Producción de Xilitol (t/a)	Valor de la inversión en la Planta de Xilitol (CUP)	Valor de la producción de Xilitol (CUP)
0	18 050,29	1 805,03	462 760 662,7	81 226 282,5
20	52 744,28	5 274,43	880 584 915,9	237 349 282,5
40	104 526,13	10 452,61	1 327 397 229,0	470 367 562,5
60	156 307,97	15 630,80	6 579 823 725,0	703 385 842,5
80	208 089,81	20 808,98	2 006 395 191,0	936 404 122,5
100	259 871,65	25 987,16	229 256 288,0	1 169 422 403,0

Por otro lado se ha mostrado el enriquecimiento energético del bagazo pretratado (material lignocelulítico) como se muestra en la figura 2.

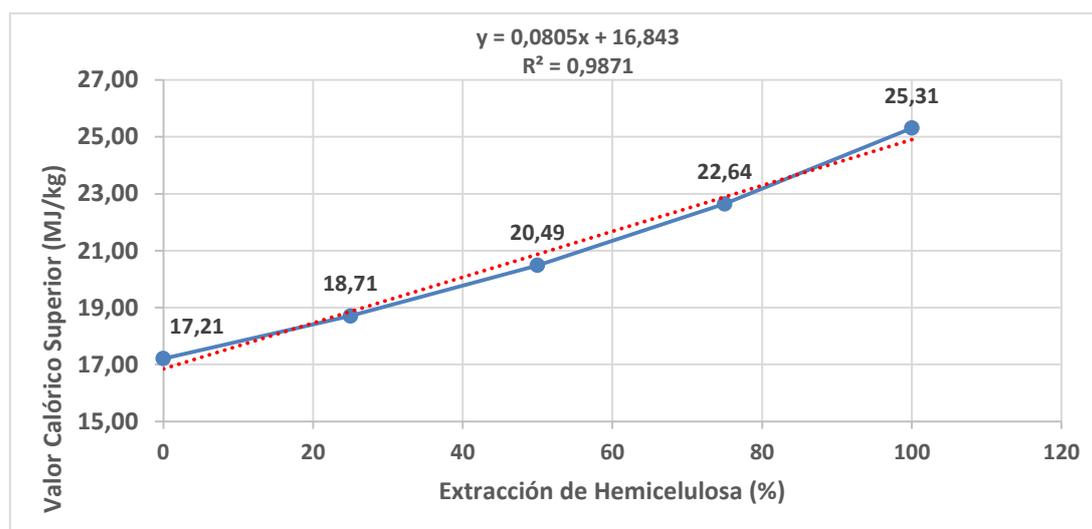


Fig. 2- Enriquecimiento energético del material lignocelulítico

Esto significa que el crecimiento del valor calórico de la masa lignocelulósica resultante de la hidrólisis enzimática con relación al valor calórico del bagazo aumentó aproximadamente a un valor de 22,0 MJ/kg, es decir 1,29 veces.

- Costo de transportación del bagazo por km de recorrido y tonelada

Por la densidad del bagazo que tiene un valor reportado de 80 kg/m^3 , un camión con un volumen de 125 m^3 es capaz de transportar 10 toneladas, el costo de trasportación desde la Empresa Agroindustrial Azucarera (EAA) Carlos Manuel de Céspedes hasta la Bioeléctrica (Biopower) ubicada a una distancia de 78 km es de 660,66 CUP de acuerdo a la ⁽²³⁾, es decir: 66,066 CUP/t, lo que debido al poder calórico del bagazo que permite un índice de generación eléctrica de (0,71 MW/t), significa que el costo de trasladar un MW en forma de bagazo de una instalación hasta la otra sería de 93,05 CUP/MW.

- Costo de transportación del pellet por Km y tonelada

Por la densidad del pellet en bulto que tiene un valor calculado promedio de 440 kg/m^3 , un camión con un volumen de 125 m^3 es capaz de transportar 55 t el costo de trasportación sería de 3 363,36 CUP, es decir: 61,15 CUP/t, lo que debido al poder calórico del pellet que permite un índice de generación eléctrica de (1,6 MW/t), significa que el costo de trasladar un MW en forma de pellets de una instalación hasta la otra sería de 31,22 CUP/MW.

Esto posibilita estimar un incremento en el precio del producto pellet frente al producto bagazo determinado por la relación inversa entre los costos del MW en la bioeléctrica, es decir: $93,05 / 31,22: 2,98$ lo que permite estimar el impacto

económico entre usar uno o el otro en la bioeléctrica cuando se tratara de pellet de bagazo al cual no se le ha eliminado la hemicelulosa, al hacer esta eliminación mediante la hidrólisis ácida, para la producción de xilitol, el poder calórico se elevaría como se ha dicho 1,29 veces y la relación de variación de precio podría acordarse en 3,8442, ajustable a 3,6 para favorecer al cliente y con ello un precio por t de pellet de 1 080 CUP/t.

- Valor de la inversión del pellet según capacidad de la planta

En el sitio <https://m.spanish.alibaba.com> se reportan valores de adquisición de los equipos para una planta peletizadora con una capacidad de 10 t/h de 15 000 000 CUP lo que implica una inversión estimada según ⁽¹⁸⁾ para una planta de pellets de (32 313 600 CUP) para la materia prima a procesar.

Esto permite estimar los valores de inversión y producción para las diferentes capacidades necesarias a instalar según sea el por ciento de extracción del jugo de los filtros, según se refleja en la tabla 6.

Tabla 6- Capacidad y valor inversionista para la instalación de peletizado después de la hidrólisis ácida.

<u>Extrac</u> (%)	Bazo disponible (t/a)	Material lignocelulósico para peletizar (t/a)	Producción al año Pellet en (t)	Valor de la Inversión para la capacidad definida (CUP)	Valor de la Producción al año de pellet en (CUP)
0	18 050,29	13 050,36	8 699,37	13 745 245,37	9 395 316,73
20	52 744,28	38 134,12	25 420,20	50 563 841,03	27 453 819,34
40	104 526,13	75 572,39	50 376,55	76 220 136,45	54 406 678,42
60	156 307,97	113 010,66	75 332,91	97 033 897,77	81 359 537,49
80	208 089,81	150 448,93	100 289,26	115 208 704,60	108 312 396,60
100	259 871,65	187 887,20	125 245,61	131 640 689,70	135 265 255,60

Para determinar el valor de la producción de los pellets se consideró que en los contratos de las empresas de la industria de la caña de azúcar se hace por acuerdos contractuales y se reportan valores promedios para el precio del bagazo sobrante de 300 CUP/t, por lo que la tonelada de pellets puede contratarse por una relación que aprovecha el incremento del valor calórico por tonelada es decir de 1,9 veces el precio del bagazo.

La ganancia o sus cambios, en relación a la actual, puede determinarse para plena capacidad de molida de 4 370 t/d como resultado de la combinación de ingresos de los diferentes productos (anteriores y nuevos) y los gastos de materias primas e inversión requeridos como se resume en la tabla 7.

Tabla 7- Ganancia global obtenida para los diferentes niveles de extracción del jugo de los filtros

N	Por ciento de extracción del Jugo de los Filtros	Ganancia (CUP)	Incremento de la ganancia (CUP)
1	0	521 391 150,50	0,00
2	20	1 523 233 440,31	1 001 842 289,81
3	40	2 957 982 784,50	2 436 591 634,00
4	60	1 995 322 517,87	1 473 931 367,37
5	80	5 771 455 697,01	5 250 064 546,51
6	100	7 289 174 632,71	6 767 783 482,21

Aquí mayor ganancia se obtiene con una extracción de solo el 40 % del jugo de los filtros para la producción de crema de torula durante la zafra y miel en tiempo de no zafra. Con los siguientes indicadores económicos: un VAN de 2 436 591 634,00 CUP, una TIR de 78 % y un PRD menor de 3 años.

En la tabla anterior se observa que para el 80 y 100 % las ganancias son mayores pero estos valores están afectados por la cantidad de miel que no es suficiente para garantizar la producción durante todo el año.

Conclusiones

1. Existen posibilidades de impacto de la extracción del jugo de los filtros en la fábrica de azúcar para la producción de crema de levadura torula, pues se reportan investigaciones que lo fundamentan considerando alternativas de mezclado de sustratos en tiempo de zafra y mieles finales almacenadas en no zafra.
2. Es factible y altamente atractiva la producción, en el contexto de una biorrefinería, de crema de torula, xilitol y pellet, para el beneficio de la alimentación animal, la industria alimentaria y la generación de energía eléctrica, respectivamente.
3. En las condiciones estudiadas, con el precio de los productos actuales y los que se proponen nuevos, el costo de las materias primas y los estimados de las inversiones, el por ciento de extracción óptimo del jugo de los filtros está en el entorno del 40 por ciento.

Referencias bibliográficas

1. DÍAZ CANEL BERMÚDEZ, M. M. DELGADO FERNÁNDEZ, M. Gestión del gobierno orientado a la innovación: Contexto y caracterización del modelo. *Revista Universidad y Sociedad*. 2021, **13**(1). 6-16. [Consultado 14 julio 2023]. ISSN 2218-3620.
2. GONZÁLEZ SUÁREZ, E., CONCEPCIÓN TOLEDO, D. N., MIÑO VALDÉS, J. E., LÓPEZ BASTIDA, E. J., & RAMOS MIRANDA, F. E. Necesidad y posibilidad de formar doctores desde la industria química. Lugar de los métodos matemáticos. *Revista Universidad y Sociedad*. 2020, **12**(5). 531-537. [Consultado 2 octubre 2022]. ISSN 2218-3620.
3. DE ARMAS MARTÍNEZ, A. C., GONZÁLEZ SUÁREZ, E., KAFAROV, V. V., ZUMALACARREGUI DE CÁRDENAS, L., OQUENDO FERRER, H., & RAMOS MIRANDA, F. Procedimiento de evaluar alternativas para transformar instalaciones de la industria de la caña de azúcar en biorrefinerías. *Revista Universidad y Sociedad*. 2021, **13**(5). 565-573. [Consultado 15 septiembre 2022]. ISSN 2218-3620.
4. DE ARMAS MARTÍNEZ, A. C., MORALES ZAMORA, M., ALBERNAS CARVAJAL, Y., GONZÁLEZ SUÁREZ, E. Alternativas para convertir una fábrica azucarera cubana en una industria biorrefinería. *Centro Azúcar*. 2018, **45**(3). 65-77. [Consultado 16 marzo 2023]. ISSN: 2223-4861.
5. HERNÁNDEZ TOUSET, J. P., DE ARMAS MARTÍNEZ, A. C., ESPINOSA PEDRAJA, R. O., PÉREZ ONES, O., GUERRA RODRÍGUEZ, L. E. Procedimiento de análisis energético para la conversión de industrias de la caña de azúcar en biorrefinerías. *Revista Universidad y Sociedad*. 2021, **13**(5). 277-288. [Consultado 12 marzo 2023]. ISSN 2218-3620.
6. GONZÁLEZ SUÁREZ, E. y CASTRO GALIANO, E. *Aspectos técnicos-económicos de los estudios previos inversionistas para la producción de etanol de caña de azúcar*. Editorial Cooperación Iberoamérica y Espacio Mediterráneo. Jaén, España. 2012, ISBN 978-84-8439-609-3
7. ALEMÁN-HURTADO, L., HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ, C. B., SANTOS HERRERO, R., FLEITAS ÁVILA, E. GONZÁLEZ SUÁREZ. Optimización de la ganancia en una instalación industrial mediante inversiones que incrementen su disponibilidad operativa. *Tecnología Química*. 2021, **41**(2), 296-310. mayo-agosto. [Consultado 13 diciembre 2022]. ISSN 2224-6185.
8. OROZCO, L. G., DE ARMAS MARTÍNEZ, A. C., SUÁREZ, E. G. Optimización de la fiabilidad del equipamiento en un central azucarero y planta de etanol. *Revista Centro Azúcar*, 2023, **50**(1). [Consultado 4 septiembre 2023]. ISSN: 2223-4861.

9. SANTOS HERRERO, R. Estrategia de Análisis de Alternativas para la reactivación de las instalaciones actuales de levadura torula. Tesis doctoral. UCLV, 1999.
10. LEÓN CHIRINO, E. A., RUANO BORMEY, M. M., ALBERNAS CARVAJAL, Y., GONZÁLEZ SUÁREZ, E. Evaluación de la extracción de jugo de los filtros para producir levadura torula en una fábrica de azúcar. *Centro Azúcar*. 2022, **49**(4), pp. 12-23. [Consultado 18 febrero 2023]. ISSN: 2223-4861.
11. RUANO BORNEY, M., GONZÁLEZ SUÁREZ, E., LEÓN CHIRINO, E. A., DE LA CRUZ MARTÍNEZ, L., ALBERNAS CARVAJAL, Y. Efecto del pago de la caña en la calidad del azúcar y en la eficiencia inversionista de torula. *Centro Azúcar*. 2022, **49**(3). 11-23, julio-septiembre. [Consultado 17 diciembre 2022]. ISSN: 2223-4861.
12. GONZÁLEZ SUÁREZ, E, DE ARMAS MARTÍNEZ, A. C., ALBERNAS CARVAJAL, Y. Producción de levadura torula y xilitol extrayendo jugo de los filtros, paso básico en el desarrollo como biorrefinería. *Centro Azúcar*. **50**(2), Abril-Junio, 2023. [Consultado 29 septiembre 2023]. ISSN: 2223-4861.
13. GÁLVEZ, L. *Manual de los derivados de la caña de azúcar*. Instituto Cubano de Investigación de los Derivados de la Caña de Azúcar. 2000, La Habana. Cuba.
14. RABASSA OLAZÁBAL, G.; GONZÁLEZ SUÁREZ, E.; PÉREZ SÁNCHEZ, A; MIÑO VALDÉS, J.E.; PÉREZ MARTÍNEZ, A. D-Xilosa y Glucosa a partir de residuos de la industria azucarera. *Revista Científica de la UCSA*. 2015, 2(2) Diciembre. 6-22. [Consultado 14 octubre 2022]. Doi:10.18004/ucsa/2409-8752/2015.002(02)006-022
15. ÁGUILA CONSUEGRA, L. E., GONZÁLEZ SUÁREZ, E., ALBERNAS CARVAJAL, Y. Determinación de las capacidades óptimas de producción de xilitol extrayendo jugo de los filtros en un central azucarero. *Centro Azúcar*. 2022, **49**(2), Abril-Junio. 85-99. [Consultado 18 diciembre 2022]. ISSN: 2223-4861.
16. PETERS, M. S., TIMMERHAUS, K. D., WEST, R. E. Plant design and economics for chemical engineers. 2003, Vol. 4. McGraw-Hill New York. ISBN 0-07-049613-7
17. LIAÑO ABASCAL, N., GUERRA RODRÍGUEZ, L. E., PÉREZ COLAS, M., GONZÁLEZ SUÁREZ, E. Pellets de bagazo de caña. *Centro Azúcar*. 2023, **50**(2), Abril-Junio. [Consultado 25 julio 2023]. ISSN 2223-4861.
18. LIAÑO ABASCAL, N., PADRÓN DELGADO, A. C., PÉREZ COLAS, M. & GONZÁLEZ SUÁREZ, E. Alternativas tecnológicas para la peletización del bagazo de caña como forma de encadenamiento productivo. *Universidad y*

- Sociedad*. (2023). **15**(4). 111-119. [Consultado 1 septiembre 2023]. ISSN 2218-3620.
19. LEÓN CHIRINO, E. A., RUANO BORMEY, M. M., ALBERNAS CARVAJAL, Y, GONZÁLEZ SUÁREZ, E. Evaluación de la extracción de jugo de los filtros para producir levadura torula en una fábrica de azúcar *Centro Azúcar*. 2022, **49**(4), octubre-diciembre. [Consultado 22 febrero 2023]. ISSN: 2223-486.
20. MESA GARRIGA, L. Estrategia investigativa para la tecnología de obtención de etanol y coproductos del bagazo de caña de azúcar. Tesis doctoral. UCLV, 2010.
21. MESA GARRIGA, L., GONZÁLEZ, E., CARA, C., GONZÁLEZ, M., CASTRO, E., MUSSATTO, S.I. The effect of organosolv pretreatment variables on enzymatic hydrolysis of sugar cane bagasse. *Chemical Engineering Journal*. 2011. 1157–1162. [Consultado 18 noviembre 2022]. DOI:10.1016/j.cej.2011.02.003
22. MORALES-ZAMORA; M., ESPINO-LEAL; I., MESA GARRIGA, L., ACOSTA-MARTÍNEZ, D., GONZÁLEZ SUÁREZ, E., CASTRO GALIANO, E. Evaluación de residuales de la hidrólisis ácida del bagazo como productos de alto valor agregado. *AfinidAd*. 2011, LXVIII (555), Septiembre - Octubre. 1-6. [Consultado 12 abril 2022]. ISSN: 0001-9704.
23. MINISTERIO DE FINANZAS Y PRECIOS. Resolución 46/2021(GOC-2021-317-EX23) Habana. Cuba

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Contribución de los autores

- Norlem Liaño Abascal: realización de la parte experimental, investigación y redacción
- Misdelki Pérez Colas: investigación y revisión del manuscrito
- Anialy Prieto Orta: realización de la parte experimental
- Erenio González Suárez: concepción de la investigación y redacción-primera redacción