

ICIDCA

sobre los derivados de la caña de azúcar

Volumen 52 No. 3 septiembre - diciembre 2018

ISSN - 0138-6204



CITMA
CERTIFICADO

ICIDCA

sobre los derivados de la caña de azúcar

Vol. 52, No. 3, sept.-dic., 2018
ISSN (versión impresa): 0138-6204
ISSN (versión electrónica): 1025-3076

Revista cuatrimestral del Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (Icidca) editada con el objetivo de difundir las experiencias y los resultados obtenidos en el marco de la investigación aplicada a la caña de azúcar y sus derivados, y dirigida a la comunidad científica en general.

Director general

Dr. Luis O. Galvez Taupier
Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados
de la Caña de Azúcar. La Habana, Cuba

Director editorial

Dra. Georgina Michelena Álvarez
Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados
de la Caña de Azúcar. La Habana, Cuba

Comité Editorial

Dr. Amaury Álvarez Delgado
Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados
de la Caña de Azúcar. La Habana, Cuba
Dra. Anna Illyna
Universidad Autonoma de Coahuila, México
Dr. Antonio Bell García
Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados
de la Caña de Azúcar. La Habana, Cuba
Dra. Graciela Ines Cerutti
Universidad Nacional de Tucumán, Argentina
Dr. Guillermo Gálvez Rodríguez
Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar,
Cuba
Dr. Joao de Almeida Batista e Silva
Escola de Engenharia Química de Lorena, Universidad de
Sao Paulo, Brasil

Dr. Jorge Lodos Fernández
Grupo Azucarero Azcuba, Cuba
Dr. Jorge Lois Correa
Centro de Investigaciones de Ciencia Aplicada y Tecnología
de Avanzada. CICATA. Tamaulipas, México
Dr. Jose Luis Martínez Hernández
Universidad Autonoma de Coahuila, México
Dr. Justo González Olmedo
Centro de Bioplasmas, Universidad de Ciego de Ávila, Cuba
Dra. Mercedes Ballesteros Perdices
Centro de Investigaciones de Energéticas, Medioambientales
y Tecnológicas (CIEMAT), España
Dr. Oscar Almazán del Olmo
Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados
de la Caña de Azúcar. La Habana, Cuba
Dr. Rafael Villegas Delgado
Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar,
Cuba
Dr. Reinaldo H. Fraga Vidal
Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados
de la Caña de Azúcar. La Habana, Cuba

Redacción, diseño y composición

Lic. Aurora Martín González
Yamil Díaz Pérez

Participaron como árbitros de este número:

Ileana Pereda Reyes, Universidad Tecnológica de La Habana
Alberto González Marrero, INICA
Raul Sabañí Díaz, ICIDCA
José Luis Martínez Hernández, Universidad Autónoma
de Coahuila, México

Eduardo Casanova Cabeza, ICIDCA
Manuel Díaz de los Ríos, ICIDCA
Dionis Pérez Pérez, Azcuba
Graciela Inés Cerutti, Universidad Nacional de Tucumán,
Argentina

Se permiten reproducciones parciales o totales de los artículos citando el autor, la revista y la fecha de publicación.

La revista es procesada por las bases de datos Chemical Abstracts, CubaCiencia y REDALYC. Aparece en el catálogo de Publicaciones Seriadas Cubanas y en el catálogo de LATINDEX. Está certificada por el CITMA (Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba).

Se acepta canje con publicaciones afines a la temática de la agroindustria azucarera y sus derivados.

Las opiniones y datos consignados en cada artículo son de exclusiva responsabilidad de los autores.

Dirija su correspondencia a:

ICIDCA
sobre los Derivados de la Caña de Azúcar
Vía Blanca 804 esq. Carretera Central,
San Miguel del Padrón, C.P. 11000,
La Habana, Cuba

Teléfonos: (537)7698-6501 / 7698-6502
Fax: (537)7698-8243
revista@icidca.azcuba.cu
www.revista.icidca.azcuba.cu, www.icidca.azcuba.cu

Inscrita como impreso periódico en la Dirección Nacional de Correos, telégrafo y prensa.

Í N D I C E

Resultados agroproductivos de seis variedades de caña de azúcar en diferentes momentos de cosecha Héctor Jorge-Suárez, Alberto Nicolás González-Marrero, Irenaldo Delgado-Mora, Rolando Bodaños-Estrada, Antonio Vera-Méndez, Adrián Céspedes-Argota, José Ramón Gómez-Pérez, Félix René Díaz-Mujica, Yaquelin Puchades-Izaguirre y Reynaldo Rodríguez-Ross	3
Análisis y evaluación de escenarios de generación de cantidades significativas de electricidad en las bioeléctricas Iván Alfredo García-González, Eugenio Pérez de Alejo-Victoria y Eduardo Hernández-Ramos	14
Disminución del impacto ambiental por reducción del consumo de energía eléctrica y agua Yaima Izquierdo-González, José Alberto Pérez-Hernández y Yohana de la Hoz-Izquierdo	26
Empleo de microorganismos eficientes como alternativa para el tratamiento de residuales. Revisión bibliográfica Evelyn Faife-Pérez, Dianelis Roget-Guevara, Claudia A. Fandiño-Rodríguez, Indira Pérez-Bermúdez, Yohana de la Hoz-Izquierdo, Keyla Tortoló-Cabañas y Georgina Michelena-Álvarez	30
Evaluación de la concentración y desalinización como tratamiento a la vinaza producida en una destilería cubana Claudia López-Pérez, Lourdes Zumalacárregui-de Cárdenas y Osney Pérez-Ones	41
Análisis de sitio total en un complejo bioeléctrica–central–destilería en Cuba Liosdany Oliva-Pérez, Junior Lorenzo-LLanes e Ivan A. García-González	51
Solución ambiental de efluentes de una empresa azucarera con ingenio, destilería y bioeléctrica Georgina Michelena-Alvarez, Dania Alonso-Estrada y Orly López-Delgado	61
Estudio y caracterización de lignina para la modificación de polímeros adhesivos Adolfo Brown-Gómez, Alberto L. Chala-Bermello, Héctor Toribio-Cuaya, Amaury Álvarez-Delgado, Juan A. Leal-Alfonso y Milaydis Reina-Hernández	75
Calibración multivariante de metanol y alcoholes superiores en rones cubanos oscuros a partir de mediciones UV-visible Estrella Patricia Zayas-Ruiz, Magdalena Lorenzo-Izquierdo, Felipe Orestes-Fragoso Concepción y Dany Daniel Scott del Sol	84
Proyecto para recuperación de máquina de ensayos mecánicos Gilberto Mesa-Mena, Andrés Gómez-Estevez y Marlen Lorenzo-Maiquez	89
Criterios para la acreditación de laboratorios que realizan ensayos microbiológicos según NC-ISO/IEC 17025:2006 María Teresa Fernández-Santisteban y Aidin Martínez-Sánchez	95

Agroproductive results in different cropping moments of six sugar cane varieties

Héctor Jorge-Suárez, Alberto Nicolás González-Marrero, Irenaldo Delgado-Mora, Rolando Bodaños-Estrada, Antonio Vera-Méndez, Adrián Céspedes-Argota, José Ramón Gómez-Pérez, Félix René Díaz-Mujica, Yaquelin Puchades-Izaguirre and Reynaldo Rodríguez-Ross

3

Analysis and evaluation in the bioelectricas of significant generation of electricity

Iván Alfredo García-González, Eugenio Pérez de Alejo-Victoria and Eduardo Hernández-Ramos

14

Decrease of the environmental impact by reducing electricity and water consumption

Yaima Izquierdo-González, José Alberto Pérez-Hernández and Yohana de la Hoz-Izquierdo

26

Use of efficient microorganisms as an alternative for the treatment of residuals

Evelyn Faife-Pérez, Dianelis Roget-Guevara, Claudia A. Fandiño-Rodríguez, Indira Pérez-Bermúdez, Yohana de la Hoz-Izquierdo, Keyla Tortoló-Cabañas and Georgina Michelena-Álvarez

30

Evaluation of the concentration and desalination as a treatment to the vinasse produced in a Cuban distillery

Claudia López-Pérez, Lourdes Zumalacárregui-de Cárdenas and Osney Pérez-Ones

41

Analysis of the total site in a complex bioelectric-central-distillery in Cuba

Liosdany Oliva-Pérez, Junior Lorenzo-LLanes and Ivan A. García-González

51

Environmental solution of effluents from a sugar company with sugar mill, distillery and bioelectric

Georgina Michelena-Alvarez, Dania Alonso-Estrada y Orly López-Delgado

61

Study and characterization of lignin for polymers adhesives modification

Adolfo Brown-Gómez, Alberto L. Chala-Bermello, Héctor Toribio-Cuaya, Amaury Álvarez-Delgado, Juan A. Leal-Alfonso and Milaydis Reina-Hernández

75

Multivariate calibration of methanol and higher alcohols in Cuban dark rums using uv-visible measurements

Estrella Patricia Zayas-Ruiz, Magdalena Lorenzo-Izquierdo, Felipe Orestes-Fragoso Concepción and Dany Daniel Scott del Sol

84

Project for recovery of mechanical testing machine

Gilberto Mesa-Mena, Andrés Gómez-Estevez and Marlen Lorenzo-Maiquez

89

Criteria for the accreditation of laboratories that perform microbiological essays according to NC-ISO / IEC 17025: 2006

María Teresa Fernández-Santisteban and Aidin Martínez-Sánchez

95

Resultados agroproductivos de seis variedades de caña de azúcar en diferentes momentos de cosecha

Héctor Jorge-Suárez*, Alberto Nicolás-González Marrero, Irenaldo Delgado-Mora, Rolando Bodaños-Estrada, Antonio Vera-Méndez, Adrián Céspedes-Argota, José Ramón Gómez-Pérez, Félix René Díaz-Mujica, Yaquelín Puchades-Izaguirre y Reynaldo Rodríguez-Ross

Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA).
Carretera a CUJAE, km 1½, Boyeros, La Habana, Cuba, C.P. 19390
* hector.jorge@inica.azcuba.cu

RESUMEN

Se presentan los resultados experimentales de la evaluación de los cultivares C95-416 y C97-445 comparadas con las variedades comerciales C323-68, C86-12, C86-156 y C90-469 en tres localidades del país, en cepas de caña planta y primer retoño en tres momentos de cosecha, en las variables t caña. ha⁻¹, porcentaje de pol en caña y t pol ha⁻¹ de 21 experimentos de campo. Fueron realizados análisis de varianzas bifactoriales de efectos fijos en cada momento de cosecha, en ambas cepas, siempre que hubo diferencias significativas en la interacción variedad x localidad se efectuaron análisis de conglomerado (Cluster Análisis), con las variables t caña. ha⁻¹ y porcentaje de pol en caña. Para corroborar la diferencia entre los grupos formados se procedió con el análisis de varianza simple de efectos fijos y la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey al 1 y 5 % de significación mediante el paquete estadístico Statgraphics-plus-5.0. Se obtuvo como resultado que la interacción variedad x localidad presentó diferencias significativas en las variables t caña y de pol ha⁻¹ en todos los momentos y cepas; lo que indicó un comportamiento diferenciado de los cultivares en los ambientes estudiados, no así para el porcentaje de pol en caña. En los tres momentos de cosecha y en las dos cepas se observó que los cultivares C95-416 y C97-445 alcanzaron resultados comparables con las cuatro variedades comerciales y que la localidad de Santiago de Cuba fue inferior a Cienfuegos y Sancti Spiritus en el contenido azucarero en los tres momentos de cosecha.

Palabras clave: cultivares, localidades, cepas, ambientes, interacción.

ABSTRACT

The experimental results of the evaluation of the cultivars show up C95-416 and C97-445 compared with the commercial varieties themselves C323-68, C86-12, C86-156 and C90-469 in three localities of the country in stocks of cane plant and of first sprout in three moments cropping where they were evaluated, in the variables t cane ha⁻¹, percentage of pol in cane and t pol ha⁻¹ in 21 field experiments. They were realized analyses of bi-factorial variances of fixed effects at every turn in both stocks, provided that there was you tell significant in the interaction variety x locality took effect analysis of conglomerate (Cluster Analysis), with the variables t cane ha⁻¹ and percentage of pol in cane. In order to corroborate the difference between the constituted groups came true analysis of simple variance of fixed effects and the proof of multiple comparison of stockings of Tukey to 1 and 5 % of intervening meaning the statistical package Statgraphics-plus -5,0. Quell got as a result itself to interaction variety x the locality presented you tell significant in the variables t cane and pol ha⁻¹ in all the cropping moments and stocks what a behavior told a part of the cultivars evaluated in the studied environments suggested, I did not grasp for the percentage of pol in cane In the three moments cropping and in the two evaluated stocks could observe himself that cultivars C95-416 and C97-445 attained comparable results with the four commercial cultivars, that the locality of Santiago de Cuba was inferior to Cienfuegos and Sancti Spirits in the sugar content in the three moments cropping.

Key words: cultivars, localities, stocks, environments, interaction.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de la caña de azúcar en Cuba está favorecido por su posición geográfica extendida entre los 78° 8' y 84° 57' de longitud occidental y entre los 19° 49' y 23° 17' de latitud norte, encontrando un clima favorable y suelos fértiles para la producción de caña y azúcar (1, 2).

Los países que cultivan la caña de azúcar realizan inversiones económicas en los programas de mejoramiento genético, con el propósito de obtener variedades con altos rendimientos de azúcar por hectáreas, mediante el incremento del contenido de sacarosa o del rendimiento de caña. El mejoramiento del aumento del contenido de sacarosa es altamente atractivo, porque permite incrementar los ingresos con un aumento marginal en los costos de producción, cosecha, transporte y molienda (3, 4).

Estimaciones efectuadas en la industria azucarera australiana, muestran que al mejorar el contenido de azúcar se obtiene una rentabilidad 1,8 veces mayor que la lograda con el aumento de rendimiento de caña, sobre la base de una misma cantidad de azúcar producida (3).

La evaluación de genotipos a través de distintos ambientes es una de las prácticas más usuales para la recomendación de nuevos cultivares a los productores (5).

Un elemento importante en la zafra azucarera son los momentos de cosecha. Se ha informado (6), que en el cultivo de la caña de azúcar existen tres etapas bien definidas durante la zafra (inicial, intermedia y final), sin embargo existen pocos reportes (7 - 11), donde se empleó este factor como causa de variación.

El objetivo de este trabajo es presentar los resultados agroazucareros de seis cultivares de caña de azúcar en las cepas de caña planta y primer retoño, en tres sitios de prueba del país, evaluados en los tres momentos de cosecha de la zafra azucarera cubana.

MATERIALES y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en tres sitios de prueba de la red experimental del INICA, ellos son: Localidad 1 (Espartaco en la provincia de Cienfuegos), so-

bre suelos Pardos sin carbonato; Localidad 2 (Guayos en la provincia de Sancti Spíritus), sobre suelos Pardos con carbonato y Localidad 3 (Palma Soriano en la provincia de Santiago de Cuba), sobre suelos Pardos con carbonato.

En cada localidad se estudiaron seis cultivares de caña de azúcar (C95-416, C97-445, de reciente incorporación al proceso productivo), comparados con las variedades comerciales C323-68, C86-12, C86-156 y C90-469. Se plantaron siete experimentos de campo en cada localidad (tabla 1), entre septiembre de 2009 y febrero de 2010 a los que se le realizaron 14 cosechas (siete en caña planta y siete en retoño), durante el período de noviembre 2010 a mayo de 2012. Los estudios fueron conducidos según las normas y procedimientos para el mejoramiento genético de la caña de azúcar en Cuba (10).

Se estudiaron tres momentos de cosecha en cada cepa: momento 1 correspondió con las evaluaciones realizadas de noviembre a enero (inicio de zafra), momento 2 con las realizadas de febrero a marzo (período medio de zafra) y momento 3 con las efectuadas de abril a mayo (final de zafra), para totalizar 21 ensayos de campo con 42 cosechas. Fue utilizada la información de las variables del comportamiento agrícola y azucarero de los cultivares estudiados, (t caña. ha⁻¹(TCH), porcentaje pol en caña (PPC) y t pol. ha⁻¹(TPH)).

Se realizaron análisis de varianzas bifactoriales de efectos fijos en cada momento en ambas cepas, siempre que hubo diferencias significativas en la interacción variedad x localidad se efectuaron análisis de conglomerado (Cluster Análisis), con las variables t caña. ha⁻¹ y porcentaje de pol en caña. En este análisis se empleó el método del vecino más lejano con la distancia euclidiana. Con el propósito de corroborar la diferencia entre los grupos formados se realizaron análisis de varianza simple de efectos fijos y la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey al 1 y 5 % de significación.

A los genotipos C95-416 y C97-445 se le confeccionó la curva de madurez en el período de noviembre a abril comparado con la variedad testigo C86-12 (principal comercial en Cuba), donde se utilizó una regresión de segundo orden, cada mes de la curva estuvo representado por 18 observaciones (3 localidades, 2 cepas y 3 repeticiones).

Tabla 1. Fecha de plantación y cosecha de los experimentos en cada localidad

Experimentos x localidad	Fecha de plantación	Cosechas de caña planta		Cosechas de retoño	
		Fechas	Edades	Fechas	Edades
2	sept. 2009	nov. – dic. 2010	14 –15 meses	nov. – dic. 2011	12 meses
2	nov. 2009	ene. – feb. 2011	14- 15 meses	ene. – feb. 2012	12 meses
2	ene. 2010	mar.- abr. 2011	14-15 meses	mar. – abr.2012	12 meses
1	feb. 2010	mayo 2011	15 meses	mayo 2012	12 meses

En todos los casos la base de datos experimentales fue procesada estadísticamente mediante el empleo del paquete estadístico Statgraphics-plus-5.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Período inicial de zafra

Los resultados para el momento 1 (tabla 2), en ambas cepas informaron que la interacción variedad x localidad resultó significativa para las tres variables objeto de estudio; no así en retoño para el porcentaje de pol en caña, lo que puede estar dado en que esta cepa es más estable y por ello, acentúa más las diferencias o similitudes del comportamiento azucarero entre los cultivares, ya que este carácter es menos afectado por las condiciones ambientales (12).

Estos resultados ofrecen la posibilidad de seleccionar y recomendar genotipos de comportamiento específico o de comportamiento general.

En la figura 1 se presenta el agrupamiento de los cultivares evaluados en la cepa de caña planta, donde se observó la formación de cuatro grupos; el grupo I presentó los valores más altos de rendimiento agrícola con un discreto porcentaje de pol en caña, en él se ubicaron las variedades C95-416 en Santiago de Cuba y C97-445 en Sancti Spiritus, con resultados similar al testigo C323-68 en Cienfuegos. El grupo II resultó el de mayor porcentaje de pol en caña con el segundo lugar en rendimiento agrícola, integrado por las variedades C323-68, C86-12 y C95-416 en la localidad de Sancti Spiritus. El grupo III obtuvo el menor rendimiento agrícola y el segundo valor en importancia en el porcentaje de pol en caña, integrado por cinco variedades en la localidad de Cienfuegos (C90-469, C97-445, C86-12, C86-156 y C95-416) de las seis estudiadas, dos de la localidad de Sancti Spiritus (C86-156 y C90-469) y la C323-68 de la localidad de Santiago de Cuba.

El grupo IV se caracterizó por presentar los valores más bajos de porcentaje de pol en caña con el tercer lugar en el rendimiento agrícola en la localidad de Santiago de Cuba con las variedades C86-12, C86-156, C90-469 y C97-445. Se confirmó que para las dos variables empleadas en el análisis de agrupamiento

en el período inicial de zafra en la cepa de caña planta, los grupos formados estuvieron bien establecidos con diferencias significativas entre ellos.

En la figura 2 se presenta el agrupamiento de los cultivares evaluados en la cepa de primer retoño, donde se observó la formación de tres grupos; de ellos, el grupo I presentó los valores más altos de rendimiento agrícola con un alto porcentaje de pol en caña, integrado por las variedades C323-68, C90-469 y C95-416 en Cienfuegos y C323-68, C86-12, C86-156, C95-416 y C97-445 en Sancti Spiritus.

El mayor porcentaje de pol en caña con valores intermedios en el rendimiento cañero se alcanzó en el grupo III en la localidad de Cienfuegos con las variedades C86-12, C86-156 y C97-445 y en Sancti Spiritus con el cultivar C90-469. El grupo II integrado por los seis genotipos estudiados en la localidad de Santiago de Cuba reveló los rendimientos agroazucareros más bajo. También se confirmó que tanto para las t caña ha⁻¹, como para el porcentaje de pol en caña, los grupos formados estuvieron bien establecidos con diferencias significativas entre ellos.

En la figura 3 se muestran las diferencias en el porcentaje de pol en caña entre las localidades, donde Cienfuegos y Sancti Spiritus fueron superiores a Santiago de Cuba en la cepa de retoño.

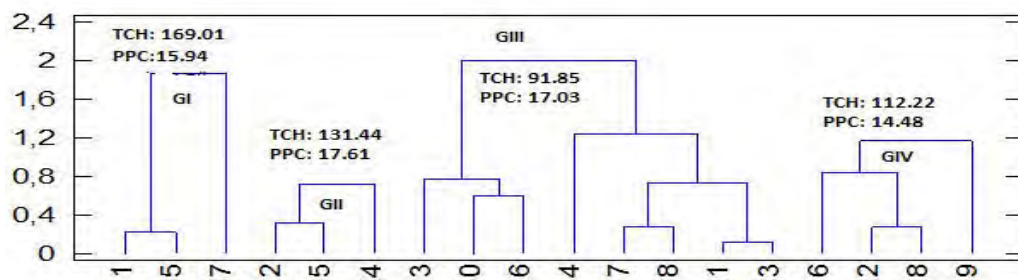
Período medio de zafra

Los resultados para el momento 2 (tabla 3), en las dos cepas estudiadas informaron que la interacción variedad x localidad resultó significativa para dos de las tres variables objeto de análisis, sin embargo en el porcentaje de pol en caña solo hubo diferencias en el factor localidad. Estos resultados pueden estar influidos por la menor variabilidad que presenta este carácter en la etapa intermedia de la zafra, debido a que los genotipos alcanzan su mayor concentración de sacarosa. En la evaluación de 46 variedades en tres momentos de cosecha en dos localidades del país (11), se encontró como aspecto relevante que para el contenido azucarero en el segundo momento de cosecha, la contribución a la variación fenotípica total del componente genético y de las localidades fue nulo y aunque la interacción genotipo x ambiente fue la que mayor tributo tuvo a la variación total no

Tabla 2. Resultados de los análisis de varianzas bifactoriales (planta y retoño). Momento 1

F. variación	G.L	Caña planta (CM)			Primer retoño (CM)		
		TCH	PPC	TPH	TCH	PPC	TPH
Variedades	5	9519.50**	1.66 ns	260.57**	776.99**	1.50 ns	19.43 ns
Localidades	2	121799.70**	113.37**	638.56 **	12640.90**	140.00**	755.94 **
V x L	10	7605.62**	6.01*	174.17 **	18308.6**	2.06 ns	43.68**
Error	144	728.00	2.87	27.04	245.20	3.04	10.41
X ± E.S		115.84±8.99	16.38±0.56	18.99±1.73	87.52±6.39	16.99±0.71	15.03±1.32

*Diferencias significativas y **Diferencias altamente significativas de los cuadrados medios (CM)



#	Variedad	Localidad	Grupo	#	Variedad	Localidad	Grupo	#	Variedad	Localidad	Grupo	#	Variedad	Localidad	Grupo
1	C323-68	1	I	2	C323-68	2	II	3	C323-68	3	III	6	C86-12	3	IV
15	C95-416	3	I	5	C86-12	2	II	10	C90-469	1	III	12	C90-469	3	IV
17	C97-445	2	I	14	C95-416	2	II	16	C97-445	1	III	18	C97-445	3	IV
								4	C86-12	1	III	9	C86-156	3	IV
								7	C86-156	1	III				
								8	C86-156	2	III				
								11	C90-469	2	III				
								13	C95-416	1	III				

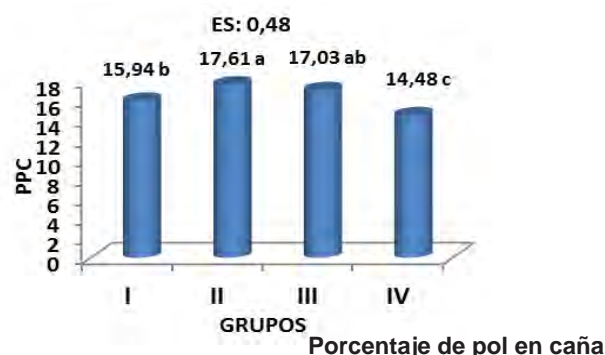
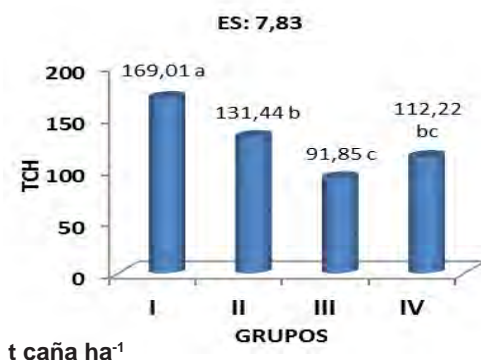


Figura 1. Agrupamiento de los cultivares evaluados en la cepa de caña planta en el período inicial de zafra con las diferencias entre grupos.

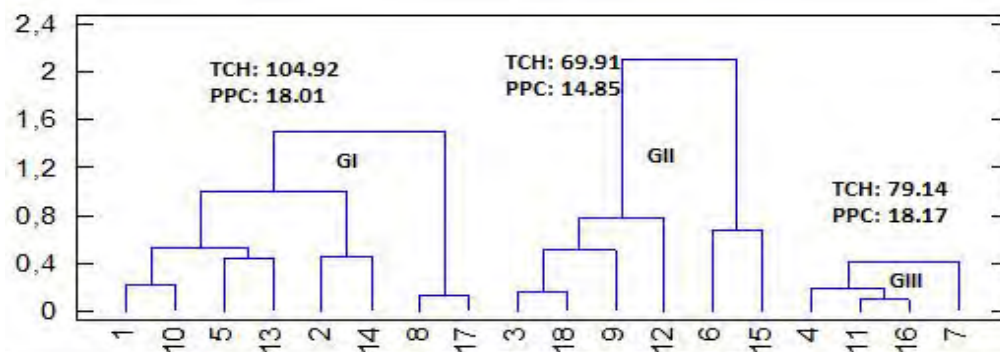
fue significativa, lo que pudo estar proporcionado a que en este período los cultivares alcanzan su mayor concentración de sacarosa en los sitios evaluados y la variabilidad entre los mismos es mínima.

La figura 4 presenta el agrupamiento de los cultivares evaluados en la cepa de caña planta, donde se observó la formación de tres grupos, el grupo I presentó los valores más bajos de rendimiento agrícola con el segundo valor en importancia de porcentaje de pol en caña, donde se agruparon los seis cultivares estudiados en la localidad de Cienfuegos y cinco de la localidad de Sancti Spíritus; mientras que el grupo III, integrado por la variedad C90-469 en Sancti Spiritus, alcanzó los mayores valores de rendimiento agrícola y porcentaje de pol en caña. Los valores más bajos para el contenido azucarero con intermedios en el rendimiento agrícola, correspondieron a la localidad de Santiago de Cuba con la totalidad de las variedades evaluadas. Se pudo

confirmar además en este período que los grupos formados estuvieron bien establecidos.

La figura 5 presenta el agrupamiento de los cultivares evaluados en la cepa de primer retoño, donde se observó la formación de cuatro grupos; al analizarlos de forma descendente se apreció que el grupo I presentó el segundo valor de rendimiento agrícola con el mayor porcentaje de pol en caña, compuesto por los cultivares C95-416 y C97-445, junto al testigo C323-68 en la localidad de Cienfuegos y a la localidad de Sancti Spiritus con las variedades C86-12, C90-469 y C97-445. En el grupo IV se ubicó la variedad C95-416 en la localidad de Sancti Spíritus, el mismo alcanzó el mayor rendimiento agrícola y un tercer lugar en el porcentaje de pol en caña.

El grupo III mostró los valores más bajos en ambas variables integrados por los cultivares C323-68, C97-445, C86-156 y C90-469 en la localidad de Santiago de Cuba. El grupo II alcanzó la tercera pro-



#	Variedad	Localidad	Grupo	#	Variedad	Localidad	Grupo	#	Variedad	Localidad	Grupo
1	C323-68	1	I	3	C323-68	3	II	4	C86-12	1	III
10	C90-469	1	I	18	C97-445	3	II	11	C90-469	2	III
5	C86-12	2	I	9	C86-156	3	II	16	C97-445	1	III
13	C95-416	1	I	12	C90-469	3	II	7	C86-156	1	III
2	C323-68	2	I	6	C86-12	3	II				
14	C95-416	2	I	15	C95-416	3	II				
8	C86-156	2	I								
17	C97-445	2	I								

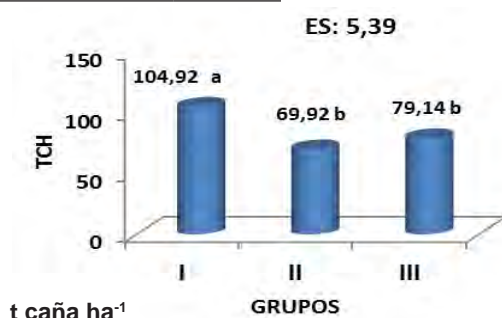


Figura 2. Agrupamiento de los cultivares evaluados en la cepa de primer retoño en el período inicial de zafra con las diferencias entre los grupos.

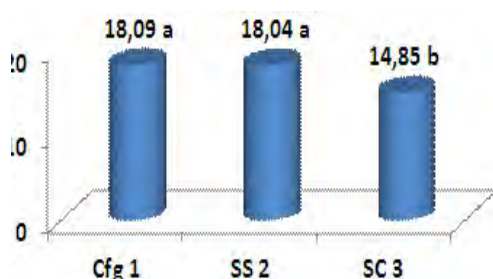
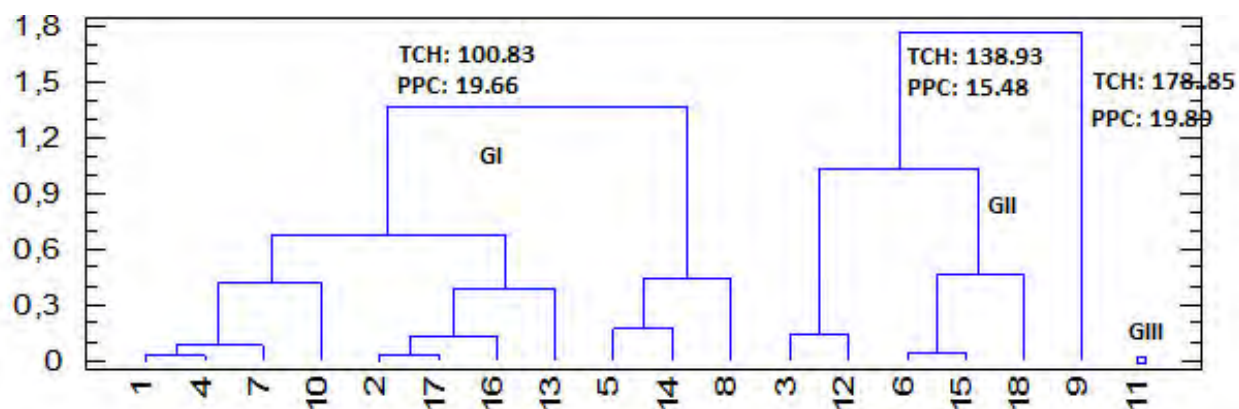


Figura 3. Diferencias entre localidades en el porcentaje de pol en caña en cepa de primer retoño del período inicial de zafra.

Tabla 3. Resultados de los análisis de varianzas bifactoriales (planta y retoño). Momento 2

F. Variación	G.L	Caña planta (CM)			Primer retoño (CM)		
		TCH	PPC	TPH	TCH	PPC	TPH
Variedades	5	2916.40**	3.46 ns	104.57**	2122.11**	1.98 ns	84.58**
Localidades	2	18945.50**	212.22**	288.35**	10408.00**	38.31**	534.85**
V x L	10	2479.95**	1.27 ns	101.48**	1087.67**	2.00 ns	34.00**
Error	90	314.00	1.99	18.65	195.31	1.17	10.27
X ± E.S		117.86±7.23	18.27±0.58	21.32±1.76	90.86±5.71	18.86±0.44	17.27±1.31

**Diferencias altamente significativas de los cuadrados medios (CM)



#	Variedad	Localidad	Grupo	#	Variedad	Localidad	Grupo	#	Variedad	Localidad	Grupo
1	C323-68	1	I	3	C323-68	3	II	11	C90-469	2	III
4	C86-12	1	I	12	C90-469	3	II				
7	C86-156	1	I	6	C86-12	3	II				
10	C90-469	1	I	15	C95-416	3	II				
2	C323-68	2	I	18	C97-445	3	II				
17	C97-445	2	I	9	C86-156	3	II				
16	C97-445	1	I								
13	C95-416	1	I								
5	C86-12	2	I								
14	C95-416	2	I								
8	C86-156	2	I								



Figura 4. Agrupamiento de los cultivares evaluados en la cepa de primer retoño en el período inicial de zafra con las diferencias entre los grupos.

ducción de caña y el segundo rendimiento industrial.

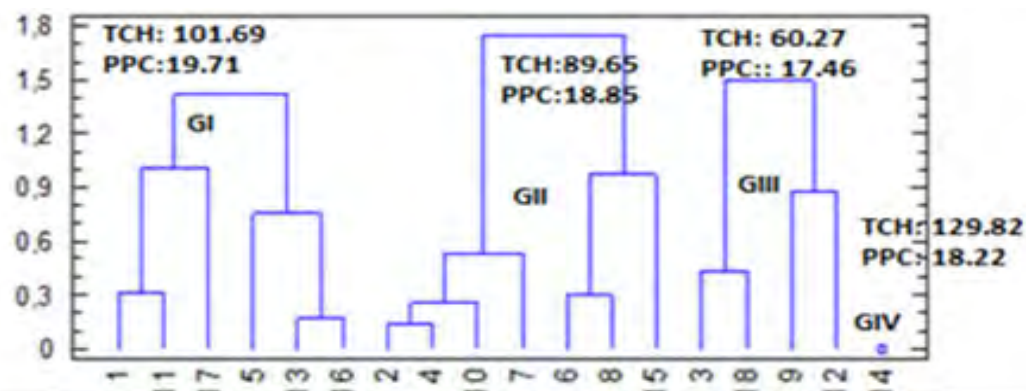
En la figura 5, también se confirma que los grupos formados estuvieron bien establecidos con diferencias significativas entre ellos. La figura 6 muestra las diferencias en el porcentaje de pol en caña entre las localidades, donde Cienfuegos y Sancti Spiritus fueron superiores a Santiago de Cuba, ratificando los resultados del momento 1.

Período final de zafra

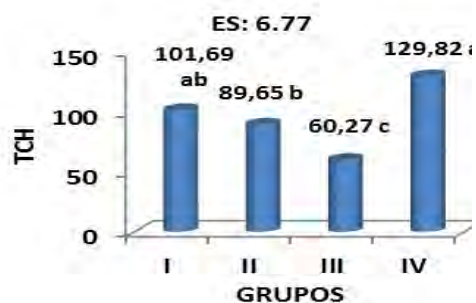
Los resultados para el momento 3 en ambas cepas (tabla 4), informaron que la interacción variedad x localidad resultó significativa para las tres variables objeto de estudio, no así en caña planta en el

porcentaje de pol en caña, lo que puede estar proporcionado por lo explicado en el momento 1, lo que corroboró la importancia que tiene la cepa de retoño en la evaluación de los cultivares. Es de señalar que en el contenido azucarero en caña planta solo hubo diferencias entre las localidades.

En la figura 7 se presenta el agrupamiento de los cultivares evaluados en la cepa de caña planta, donde se observa la formación de cuatro grupos; de ellos, el grupo II presentó los más altos valores de rendimiento agrícola con el menor porcentaje de pol en caña, este está integrado por los cultivares C95-416 y C97-445, junto a los testigo C323-68, C86-12 y C90-469 en la localidad de Santiago de Cuba. El



#	Variedad	Locali- dad	Gru- po	#	Variedad	Locali- dad	Gru- po	#	Variedad	Locali- dad	Gru- po	#	Variedad	Locali- dad	Gru- po
1	C323-68	1	I	2	C323-68	2	II	3	C323-68	3	III	14	C95-416	2	IV
11	C90-469	2	I	4	C86-12	1	II	18	C97-445	3	III				
17	C97-445	2	I	10	C90-469	1	II	9	C86-156	3	III				
5	C86-12	2	I	7	C86-156	1	II	12	C90-469	3	III				
13	C95-416	1	I	6	C86-12	3	II								
16	C97-445	1	I	8	C86-156	2	II								
				15	C95-416	3	II								



t caña ha⁻¹



Porcentaje de pol en caña

Figura 5. Agrupamiento de los cultivares evaluados en la cepa de primer retoño en el período medio de zafra con las diferencias entre los grupos.

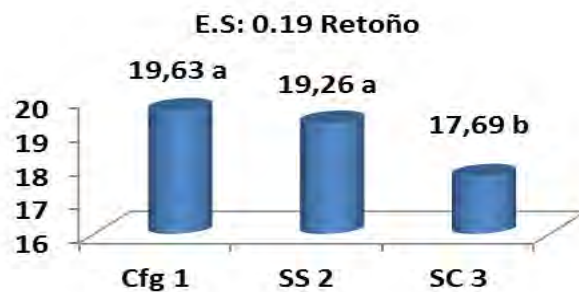
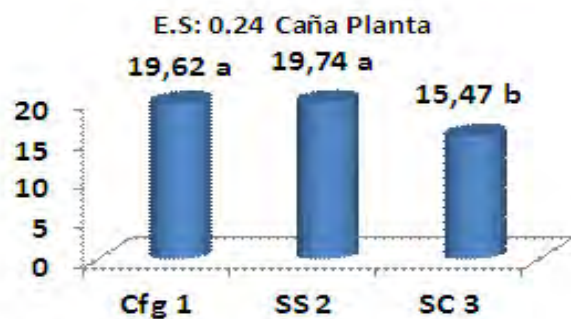
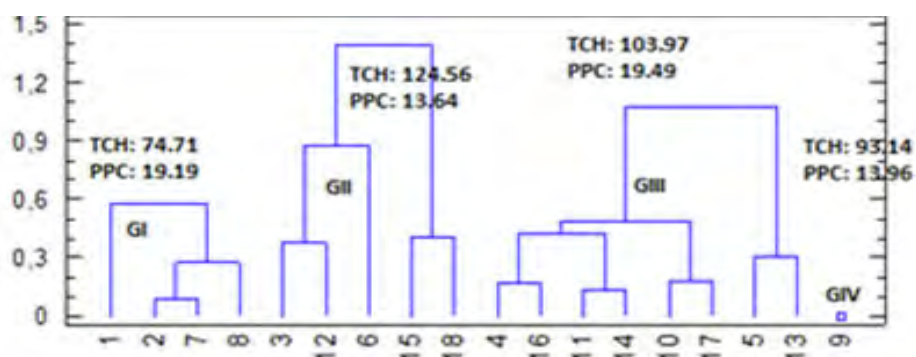


Figura 6. Diferencias entre las localidades en el porcentaje de pol en caña en las cepas caña planta y retoño del período medio de zafra.

Tabla 4. Resultados de los análisis de varianzas bifactoriales (planta y retoño). Momento 3

F. Variación	G.L	Caña planta (CM)			Primer retoño (CM)		
		TCH	PPC	TPH	TCH	PPC	TPH
Variedades	5	3365.44**	2.07 ns	109.11**	631.76**	1.12 ns	28.76*
Localidades	2	7193.34**	389.24**	54.85**	5842.07**	26.65**	262.05**
V x L	10	473.76**	0.76 ns	14.56*	755.13**	4.07**	27.65**
Error	90	129.49	0.71	6.65	126.59	1.40	6.58
X ± E.S		103.03±4.65	17.45±0.34	17.74±1.05	84.85±4.59	18.96±0.48	16.04±1.05



#	Varie- dad	Locali- dad	Gru- po	#	Varie- dad	Locali- dad	Gru- po	#	Varie- dad	Locali- dad	Gru- po	#	Varie- dad	Locali- dad	Gru- po
1	C323-68	1	I	3	C323-68	3	II	4	C86-12	1	III	9	C86-156	3	IV
2	C323-68	2	I	12	C90-469	3	II	16	C97-445	1	III				
7	C86-156	1	I	6	C86-12	3	II	11	C90-469	2	III				
8	C86-156	2	I	15	C95-416	3	II	14	C95-416	2	III				
				18	C97-445	3	II	10	C90-469	1	III				
								17	C97-446	2	III				
								5	C86-12	2	III				
								13	C95-416	1	III				

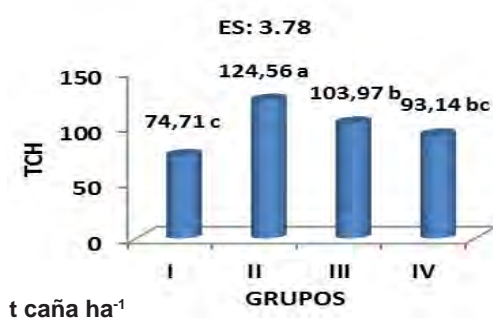


Figura 7. Agrupamiento de los cultivares evaluados en la cepa de caña planta en el período final de zafra con las diferencias entre los grupos.

grupo I estuvo representado por las variedades C86-156 y C323-68 en las localidades de Cienfuegos y Sancti Spiritus, con la segunda mayor media en el porcentaje de pol en caña y el menor rendimiento agrícola; mientras que el grupo III alcanzó la mayor media para el contenido azucarero y el segundo valor de importancia en la producción de caña, forma-

do por los genotipos C86-12, C97-445, C90-469 y C95-416 en las localidades de Cienfuegos y Sancti Spiritus. El grupo IV estuvo integrado por el genotipo C86-156, con el tercer valor en jerarquía para las t caña ha-1 y el contenido azucarero. La confirmación de los grupos en caña planta también aparece representado en la figura 7.

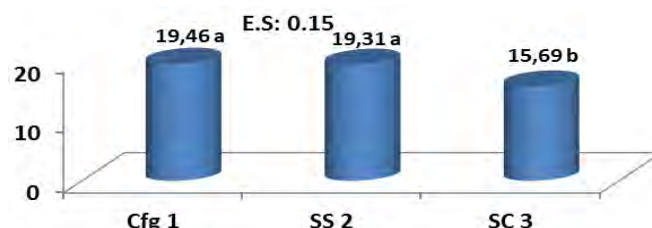
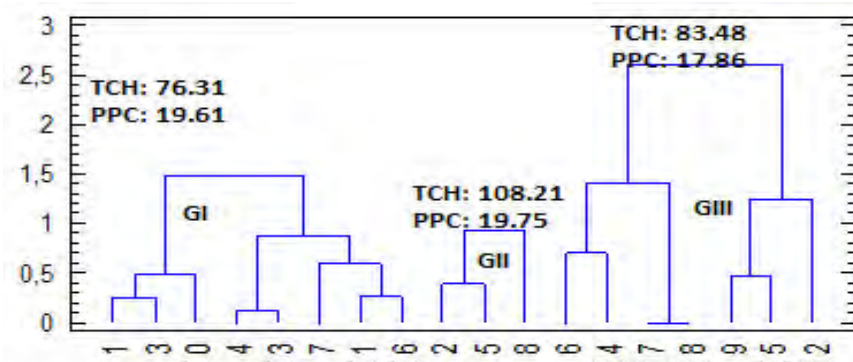


Figura 8. Diferencias entre las localidades en el porcentaje de pol en caña en cepa caña planta del período final de zafra.



#	Variedad	Localidad	Grupo	#	Variedad	Localidad	Grupo	#	Variedad	Localidad	Grupo
1	C323-68	1	I	2	C323-68	2	II	6	C86-12	3	III
3	C323-68	3	I	5	C86-12	2	II	14	C95-416	2	III
10	C90-469	1	I	8	C86-156	2	II	17	C97-445	2	III
4	C86-12	1	I					18	C97-445	3	III
13	C95-416	2	I					9	C86-156	3	III
7	C86-156	1	I					15	C95-416	3	III
11	C90-469	2	I					12	C90-469	3	III
16	C97-445	1	I								

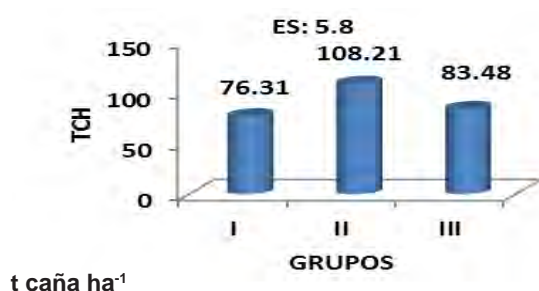


Figura 9. Agrupamiento de los cultivares evaluados en la cepa de primer retoño en el período final de zafra con las diferencias entre los grupos.

La figura 8 certificó las diferencias en el porcentaje de pol en caña entre las localidades, donde Cienfuegos y Sancti Spiritus continuaron en este período de zafra con resultados superiores a Santiago de Cuba.

En la figura 9 se presentó el agrupamiento de los cultivares evaluados en la cepa de primer retoño, donde se observó la formación de tres grupos. Es de destacar al grupo II, como el de mayor rendimiento

agroazucarero, que se corresponden con las variedades C323-68, C86-12 y C86-156 en la localidad de Sancti Spiritus. También se confirmó que tanto para las t caña. ha⁻¹, como para el porcentaje de pol en caña en la cepa de primer retoño, los grupos formados estuvieron bien establecidos.

De forma general en los tres momentos de cosecha y en las dos cepas evaluadas se observó que los cultivares C95-416 y C97-445 alcanzaron resultados

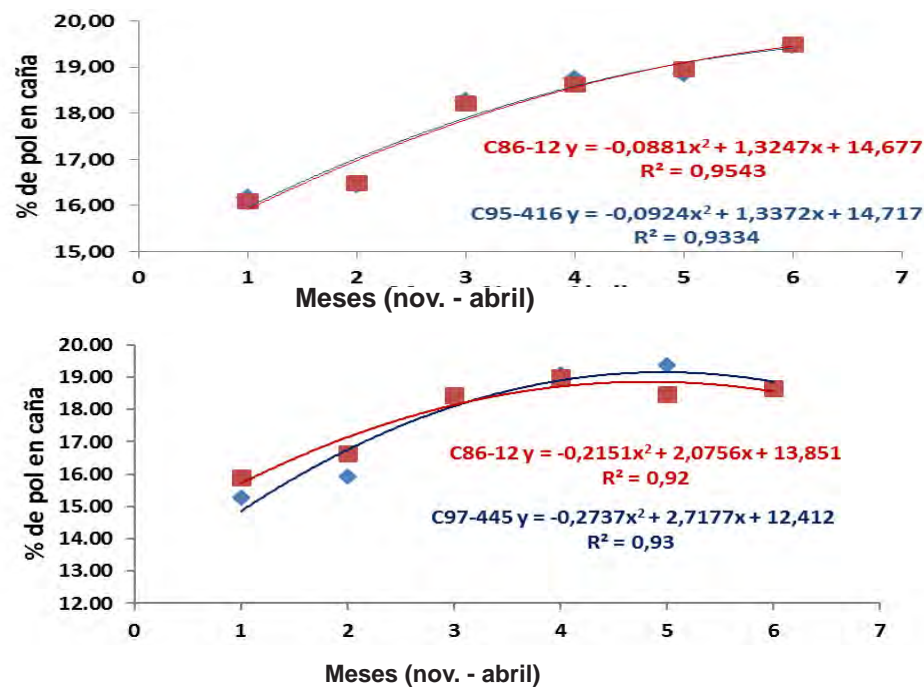


Figura 10. Curvas de madurez de los cultivares C95-416 y C97-445 comparados con la variedad comercial C86-12.

comparables con las cuatro variedades comerciales, en las variables de cosecha analizadas, lo que demuestra la importancia de acelerar su introducción en el proceso productivo.

En la figura 10 se presentan las curvas de madurez de los cultivares C95-416 y C97-445, la primera tuvo un comportamiento similar al testigo C86-12, no así la segunda que se comportó ligeramente inferior en los meses de noviembre y diciembre y superior en marzo y abril.

CONCLUSIONES

1. La interacción variedad x localidad presentó diferencias significativas en las variables t caña y de pol ha⁻¹ en todos los momentos y cepas, lo que

indicó un comportamiento diferenciado de los cultivares evaluados en los ambientes estudiados, no así en el porcentaje de pol en caña, que solo lo fue en el período inicial de zafra en caña planta y en el período final de zafra en primer retoño.

2. En los tres momentos de cosecha y en las dos cepas evaluadas se observó que los cultivares C95-416 y C97-445 alcanzaron resultados comparables con las cuatro variedades comerciales, en las variables de cosecha analizadas, lo que demuestra la importancia de acelerar su introducción en el proceso productivo.
3. El contenido azucarero de los genotipos evaluados en los tres momentos de cosecha expresó que la localidad de Santiago de Cuba fue inferior a Cienfuegos y Sancti Spíritus.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Blume, H. Environment and cane sugar yield. Proc. XVIII. Cong. ISSCT. Agric. Conm. (1): 285-302. 1983.
2. González, A. Caracterización del efecto ambiental en estudios de regionalización de variedades de caña de azúcar (*Saccharum spp.* Híbrido), en la provincia de Las Tunas. Tesis de Opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. INICA: 120p. 1995.
3. Jackson, P.A. Breeding for improved sugar content in sugarcane. Field Crops Res. 92: 277–290. 2005.
4. Aitken, K.S.; Jackson, P. and McIntyre, L.C. Genetic quantitative trait loci identified for sugar related traits in a sugarcane (*Saccharum spp.*) cultivar x *Saccharum officinarum* population. Theor. Appl. Genet. 112:1306-1317. 2006.

5. Gordon, M.; Camargo, B.; Franco, B. y González, S. Evaluación de la adaptabilidad y estabilidad de 14 híbridos de maíz, Azuero, Panamá. *Agronomía Mesoamericana*, 17 (2): 189-199. 2006.
 6. Jorge, H.; Jorge, I.; Santana, I.; Santana, O. y González, R. Manejo y Explotación de las cultivares de caña de azúcar en Cuba. *Revista Cuba & Caña*, pp. 26-28. 2000.
 7. López, E. Influencia de algunos factores del ambiente sobre el rendimiento y aplicación de tres métodos de estabilidad en los estudios de regionalización de cultivares de caña de azúcar en las provincias de Camagüey y Ciego de Ávila. Tesis de Opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. INICA 198 p. 1986.
 8. Jorge, H.; García, H.; Delgado, I.; Jorge, I.; Cabrera, L.; *et al.* Nuevo enfoque para la evaluación de cultivares en Cuba. Memoria del VII Congreso de Técnicos Azucareros de Latinoamérica y el Caribe. (www.ATALAC2008.org). Artículos, Agricultura, Biología, pp. 1-8, 2008.
 9. Delgado, I.; Jorge, H.; García, H.; Bernal, N.; Bernal, A. *et al.* Potencialidades de familias de cultivares de caña de azúcar para diferentes períodos de zafra. *Cultivos Tropicales* 33(3):5-14. 2012.
 10. Jorge, H.; Jorge, I.; Mesa, J.M. y Bernal, N. Normas y Procedimientos del Programa de Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar en Cuba. PUBLINICA. La Habana. 346p. 2011.
 11. Jorge, H., Delgado, I.; Vera, A.; Gómez, J.R.; Díaz, F.R.; *et al.* Caracterización de las familias de variedades acorde con los momentos de cosecha en dos localidades de la región central de Cuba. *Centro Agrícola*, 41(2): 71-77; abril-junio, 2014.
 12. Parvizi, M. Bases Genéticas para la Selección de Poblaciones Clónales de la Caña de Azúcar (*Saccharum spp.*) bajo diferentes condiciones ambientales de la provincia de Juzestán, Irán. Tesis de Opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. INICA: 100 p. 2013.
-

Análisis y evaluación de escenarios de generación de cantidades significativas de electricidad en las bioeléctricas

Iván Alfredo García-González^{1 *}, Eugenio Pérez de Alejo-Victoria¹, Eduardo Hernández-Ramos²

1. Grupo de Análisis de Procesos, Facultad de Ingeniería Química, Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría” (CUJAE). Calle 114 No. 11901 e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba.

*igarcia@quimica.cujae.edu.cu

2. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (Icidca).

Via Banca 804 y Carretera Central. San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba.

RESUMEN

En la actualidad es una necesidad generar electricidad utilizando fuentes energéticas no convencionales debido a los fluctuantes precios del petróleo y sus derivados y a los nocivos impactos ambientales que tienen asociados estos combustibles.

En Cuba se pretende comenzar con la instalación de bioeléctricas donde es posible generar cantidades significativas de electricidad para vender al Sistema Eléctrico Nacional (SEN). Para lograr diseñar conceptualmente y operar con eficacia y eficiencia en estas instalaciones es necesario estructurar y complementar la información con que cuentan los especialistas de AZCUBA y las universidades. La concepción de una bioeléctrica implica invertir sumas millonarias, por ende, es muy necesario realizar estudios que agrupen algunos de los principales aspectos en cuanto a diseño y operación de instalaciones de este tipo, así en esta investigación quedaron definidos como objetivos fundamentales el escenario de generación de electricidad y la presión y temperatura del vapor de alta. Para el desarrollo de esta investigación fue empleado el software Sistemas Termoazúcar 4.1 para la simulación de dos casos de estudio con presiones de vapor de alta diferentes quedando establecido la importancia de operar a presiones cercanas a los 8600 kPa y temperaturas entre (790-810) K. Para lograr la simulación de los casos fue necesario obtener un modelo matemático que describiera la operación de los turbogeneradores de extracción condensación. Son analizados de manera crítica ambos casos de estudio y establecidos proyectos de inversión para su mejoramiento llegando a indicadores que los hacen factibles con TIR de 20 y 36 % respectivamente.

Palabras clave: sistemas termoenergéticos, diagramas de flujo de proceso, diagramas de flujo de información, turbogeneradores de extracción condensación, turbogeneradores de contrapresión, bioeléctrica.

ABSTRACT

Generate electricity using non-conventional energetic sources is a need nowadays, due to the changing prices of oil and its derivation and the harmful impacts these products have for the environment.

In Cuba specialists intend to start facing this fact the opening of bioelectrics where a large amount of electricity can be generated to be sold to the National Electricity System (SEN). To design and operate with efficiency these facilities is needed to structure and complement the information the AZCUBA specialists and universities in the country. The conception of a bioelectric implies investing great amount of money, so it is very important to carry out some research that gather the main aspects relating to design and operation of facilities of this type. Hence, in this research the setting of the electricity generation, pressure and temperature of high vapor are considered as fundamental.

Along this research the software Sistemas Termoazúcar 4.1 (STA 4.1) was employed to simulate two study cases with pressures of different high vapor which evidenced the importance of pressure around 8 600 kPa and temperature between (790-810) K.

Both study cases are analyzed and investment projects are established to improve them reaching better results with TIR of 20 and 36% respectively. To achieve the simulation of these cases a mathematical model that described the operation of the extraction and condensation turbogenerator was obtained.

Key words: thermoenergetic systems, flow of process diagrams, flow of information diagram, extraction and condensation turbogenerator, contrapressure turbogenerator, bioelectric.

INTRODUCCIÓN

Mundialmente la gran mayoría de las fuentes energéticas utilizadas provienen de combustibles fósiles. tanto en las operaciones para la obtención de combustibles como en la utilización de estos se obtiene como resultado una creciente contaminación ambiental. Cuba no se queda fuera de la influencia de la existencia de hidrocarburos en la situación energética actual. Por lo mencionado y los cambiantes precios del petróleo y derivados existe la necesidad de que se implementen y desarrollen alternativas de tecnologías para un mayor uso de las fuentes renovables de energía (1).

La caña de azúcar y el marabú son dos fuentes renovables de energía que hacen posible la generación de electricidad todo el año en instalaciones denominadas bioeléctricas, diferentes en su concepción a los centrales azucareros. La diferencia más marcada está dada en el escenario de generación de electricidad y esta diferencia se hace más elevada en los centrales cubanos debido a que por sus características no necesariamente se debe perseguir equipos eficientes en el proceso de producción. Este hecho en la concepción de una bioeléctrica cambia de manera radical ya que es de gran importancia que cada uno de los procesos que se llevan a cabo en una planta de esta índole sea lo más eficiente posible, pues esto garantizaría una mayor producción de electricidad para vender al Sistema Eléctrico Nacional. En estas instalaciones existe como objetivo fundamental generar cantidades significativas de electricidad por lo que el ciclo de potencia que las caracteriza debe ser de grandes capacidades. En resumen, el estudio de una planta de estas características debe perseguir siempre que se genere tanta electricidad como sea posible, la mayor parte del tiempo empleando bagazo u otra

biomasa. Para el estudio de estas instalaciones es necesario además del escenario de generación, establecer las condiciones de presión y temperatura con las que se genera el vapor de alta presión.

En el presente trabajo se ponen en estudio dos casos que permiten estructurar la información necesaria para establecer las pautas en el diseño conceptual de una instalación capaz de entregar cantidades significativas de electricidad desde el punto de vista técnico y económico, haciendo empleo del software Sistema Termoazúcar (STA 4.1).

MATERIALES Y MÉTODOS

Estrategia para solucionar problemas complejos. Empleo de la simulación

Para que los procesos de producción de la industria química sean adecuadamente diseñados, operados y mejorados hay que tener en cuenta que la solución de un problema está vinculada al ciclo: “Modelación, simulación (Selección de modelos y cálculo repetitivo y creativo), análisis de resultados y síntesis de soluciones”. Al método cíclico de solución de problemas complejos, especialmente los de grandes dimensiones y final abierto, que aparece representado esquemáticamente en la figura 1 muchos especialistas lo enmarcan con los términos “Simulación de procesos químicos y/o análisis de procesos (2).

1. Situación problemática. A partir de los conocimientos sobre la industria o planta en la que se va a realizar el estudio, el cual se adquiere mediante análisis bibliográfico, entrevistas y cálculos rápidos entre otros, se debe establecer una situación problemática a solucionar que puede partir del diseño de una planta o mejoramiento de una existente. Para ello es



Figura 1. Metodología para la resolución de problemas complejos.

necesario adquirir la mayor cantidad de información disponible sobre el tema tratado.

2. Definir el problema científico y objetivo. Una vez recopilada y estudiada toda la información, así como la situación actual de la industria que se está tratando, se define un problema científico que debe corresponder con las necesidades actuales de esta, en el presente estudio: la azucarera en Cuba; y el objetivo de la investigación al cual deben converger todos los puntos de la misma.

3. Conocer el proceso. Es extremadamente necesario sobre todo para no trabajar en vano y hacer el estudio lo más eficaz y eficiente posible, tener conocimiento del proceso donde será realizado el estudio. Para el caso de la situación problemática pertinente se enmarca en el sistema termoenergético (STE) de un conjunto bioeléctrica-ingenio, teniendo en cuenta fundamentalmente la etapa de generación de electricidad como principal parámetro a seguir.

4. Modelación. La modelación matemática es una herramienta que permite, mediante cálculos matemáticos empleando ecuaciones principales y complementarias, la solución de problemas en ingeniería como la forma en que opera un equipo, por ejemplo. La obtención de un modelo matemático para la operación de un equipo o para ver el comportamiento de una de sus variables, teniendo conocimiento de las restantes puede realizarse de forma física (planta piloto) o con un modelo matemático (solo es posible simularlo). Este punto da paso a la simulación. Para la elaboración de la investigación pertinente serán seleccionados los modelos ya establecidos en el STA 4.1 con los cuales los resultados obtenidos son satisfactorios, con excepción del mo-

delo de turbogeneradores de extracción condensación (TGEC) que como se estableció anteriormente brinda el vapor que ha de alimentarse al turbogenerador, en dependencia de la extracción de vapor realizada (para el calentamiento y evaporación en el proceso) y la potencia desarrollada en el mismo. La obtención de dicho modelo será expuesta para los casos en los que no se cuenta con la curva que proporciona el fabricante.

5. Simulación. La simulación es parte del proceso Simular que empieza con la modelación matemática de procesos, en este caso de ingeniería química, mediante el uso de leyes generales (balances de materiales y energía, ecuaciones de transferencia y correlaciones para la determinación de propiedades) y variabilidad e incertidumbre no significativa, persigue como objetivo realizar “corridos” para obtener la mayor cantidad de conjuntos de resultados (mayormente numéricos) que permitan representar lo mejor posible la complejidad del proceso real y precisar las tendencias de comportamiento del proceso. Las corridas serán realizadas con el simulador STA 4.1, el cual mediante la elaboración de un diagrama de flujo de información (DFI) conecta los diferentes módulos que representan los equipos de un STE, realizando los cálculos de manera simultánea en estado estacionario para cada uno de estos módulos. Quedando representado en un esquema como el que se muestra en la figura 2.

Casos de estudio

Los datos para elaborar los casos de estudio son a partir de información con la que se cuenta sobre la operación de una bioeléctrica angolana (caso de es-

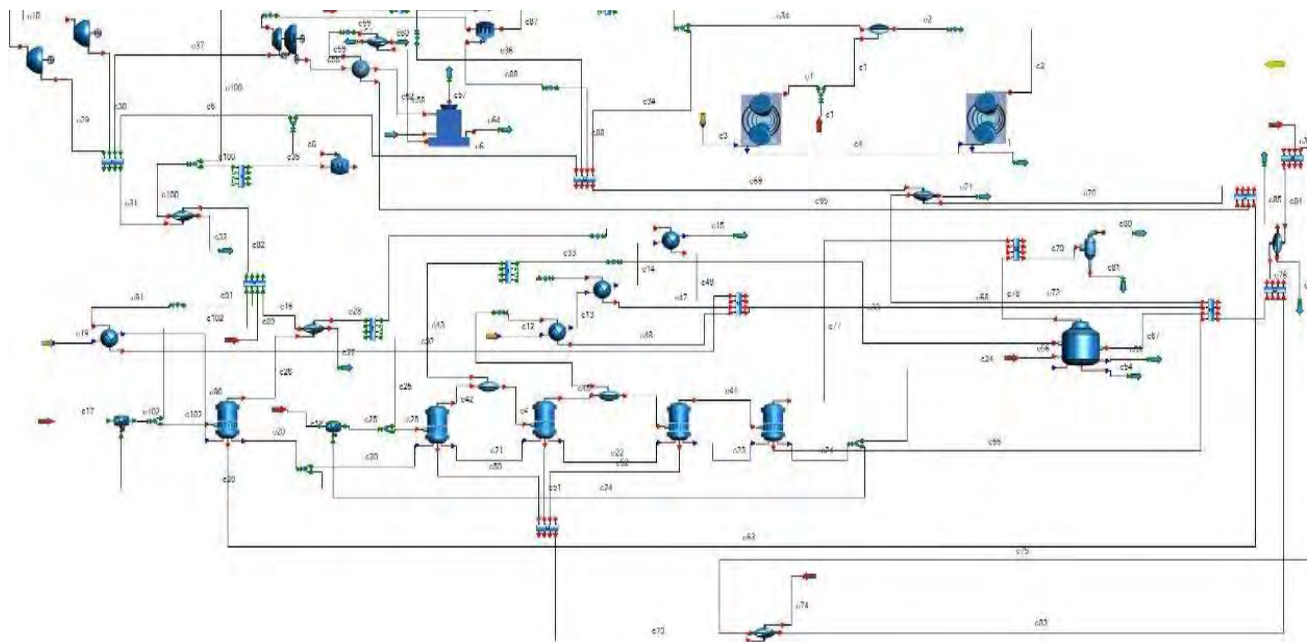


Figura 2. Diagrama de flujo de información (DFI) en el STA 4.1.

tudio 1) y la proporcionada por los especialistas del Grupo Azucarero AZCUBA, sobre los proyectos de implementación de bioeléctricas en Cuba, referida específicamente al de la bioeléctrica Ciro Redondo (caso de estudio 2). Los casos de estudio 1 y 2 serán tratados como casos base y a partir del análisis de su operación y proyección de propuestas de mejoras se tratarán los temas referentes a la operación eficaz y eficiente de estas instalaciones.

Datos generales y suposiciones para la simulación

Para llevar a cabo la simulación del caso de estudio se tuvieron en cuenta un grupo de datos generales y suposiciones los cuales son:

- El bagazo empleado en los generadores de vapor se asume que es 30 % de la caña molida.
- Se debe guardar el 5 % de bagazo sobrante para caso de paradas en el central.
- El rendimiento bruto de generación con bagazo en los generadores de vapor es de 85 %.
- El consumo de condensados contaminados se asume en un 43% respecto a la caña molida.
- Existen dos generadores de vapor para el análisis de la explotación de la capacidad nominal; se fija el primero de ellos en el simulador como si operara a máxima capacidad y en dependencia del consumo de proceso es calculado el porcentaje de explotación del segundo.
- Aunque se puede suponer el consumo de vapor, tomando valores de 42- 45 % respecto a la caña

molida, se cuenta con suficientes datos para la simulación del mismo.

- El flujo de jugo alcalizado se asume en un 114 % respecto a la caña molida con un Brix de 14.1.
- El flujo de jugo claro se asume en un 100 % respecto a la caña molida con un Brix de 14.3.
- El esquema de cocción en tachos es de tres masas cocidas con doble semilla, el agua empleada para la dilución de mieles se asume en un 4 % respecto a caña.
- El consumo eléctrico en no zafra se supone que es solo en la bioeléctrica y destilería, para ello el consumo de la bioeléctrica se asume con un valor equivalente al 10 % de la potencia instalada.

Caso de estudio 1

El caso de estudio número uno ilustra la operación de una bioeléctrica en el extranjero (BIOCOM) con capacidad de vender una cantidad significativa de electricidad al Sistema Eléctrico Nacional. El mismo presenta una molida potencial de 147.22 kg/s y cuenta con una potencia instalada para la generación de electricidad de 41.4 MW en dos turbogeneradores de contrapresión y 12.5 MW en un turbogenerador de extracción condensación. El objetivo de la simulación de este caso de estudio es analizar el sistema termoenergético de esta instalación para determinar la potencialidad de generación de electricidad durante el año entero. El diagrama de flujo de proceso (DFP) de la bioeléctrica se muestra en la figura 3 .

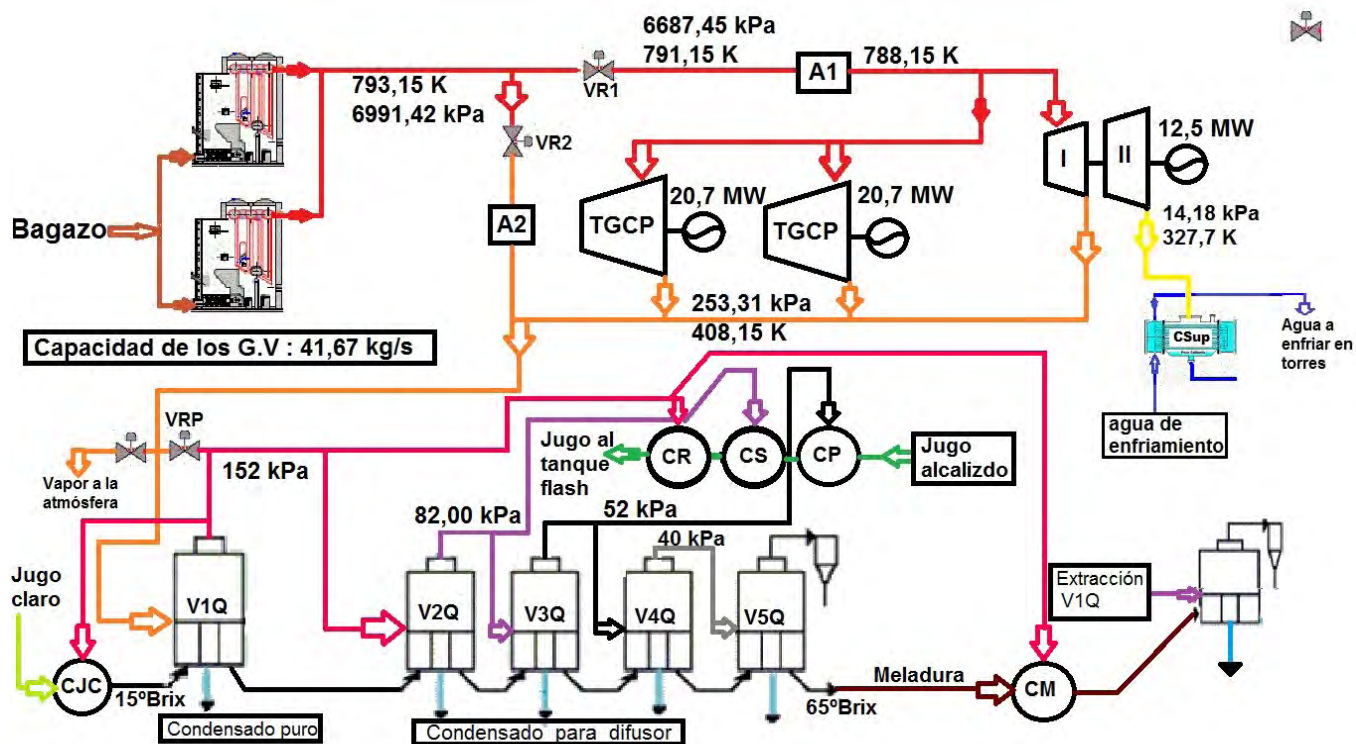


Figura 3. Diagrama de flujo de proceso (DFP) del sistema termoenergético de BIOCOM.

Descripción del sistema termoenergético de BIOCOT etapa de alta presión (bioeléctrica)

La etapa de alta presión está constituida por dos generadores de vapor de una capacidad nominal de 41.67 kg/s generando el vapor con una presión de 6 991 kPa y 793 K, este vapor de alta presión es atemperado y expandido para operar los turbogeneradores con las condiciones recomendadas por el fabricante para el vapor de entrada a los turbogeneradores las cuales son de 6 687 kPa y 788 K. El escape de los dos turbogeneradores de contrapresión (TGCP), una extracción del turbogenerador extracción condensación (TGEC) y lo que pasa por la válvula reductora de alta, satisface la demanda de vapor de baja presión (253.31 kPa) y temperatura de 408.13 K. El vapor de baja presión del TGEC va a un condensador de superficie con una presión de 14.17 kPa y una temperatura de 326 K.

Además del vapor de la extracción del turbogenerador, que permite suplir la demanda de vapor de baja presión del proceso, y el vapor que sale de los dos TGCP, pasa parte del vapor de alta presión a través de una válvula reductora de alta (VRA), fundamentalmente para compensar las demandas fluctuantes de vapor que causan los tachos no continuos y las operaciones inadecuadas. El vapor que sale de la VRA y el de la extracción del turbogenerador pasan por atemperadores para reducir los grados de sobrecalentamiento y así evitar los efectos nocivos que causa en la transferencia de calor. Los grados de sobrecalentamiento no deben pasar de 318 K (3).

Según Gaspar (4), el consumo equivalente en potencia de la fábrica es de 15.3 MW, además el central cuenta con una destilería anexa con una capacidad de producir 220 m³/d de etanol y tiene un

consumo de vapor de 6.11 kg/s. Este consumo se mantiene todo el año pues la destilería opera en zafra y no zafra.

Caso de estudio 2

Consideraciones para llevar a cabo la simulación del caso de estudio 2

- Norma potencial al 100 % de la capacidad diaria de molida de caña de la fábrica.
- La molida potencial es de 147.22 kg/s de caña.
- Tiempo de operación en zafra 183 días, lo cual está en correspondencia con el programa de desarrollo azucarero de AZCUBA.
- El combustible utilizado en este trabajo es solo la biomasa cañera (bagazo).

Descripción del sistema termoenergético del caso de estudio 2

El caso de estudio 2 ilustra el sistema termoenergético (STE) de la bioeléctrica Ciro Redondo, propuesta por ECIAZ (5). Se asume que existen dos generadores de vapor con capacidad nominal de 41.67 kg/s, el vapor se genera con una presión de 8612.62 kPa y temperatura de 808.15 K. Existe instalado un TGEC de 60 000 kW de potencia que opera a un 90 % de su carga nominal con una extracción para el proceso con presión de 319.17 kPa y temperatura de 416.95 K.

Determinación del flujo de caja anual de los sistemas termoenergéticos correspondientes a cada caso de estudio

En el conjunto bioeléctrica-ingenio como en cualquier proceso productivo el objetivo fundamental es

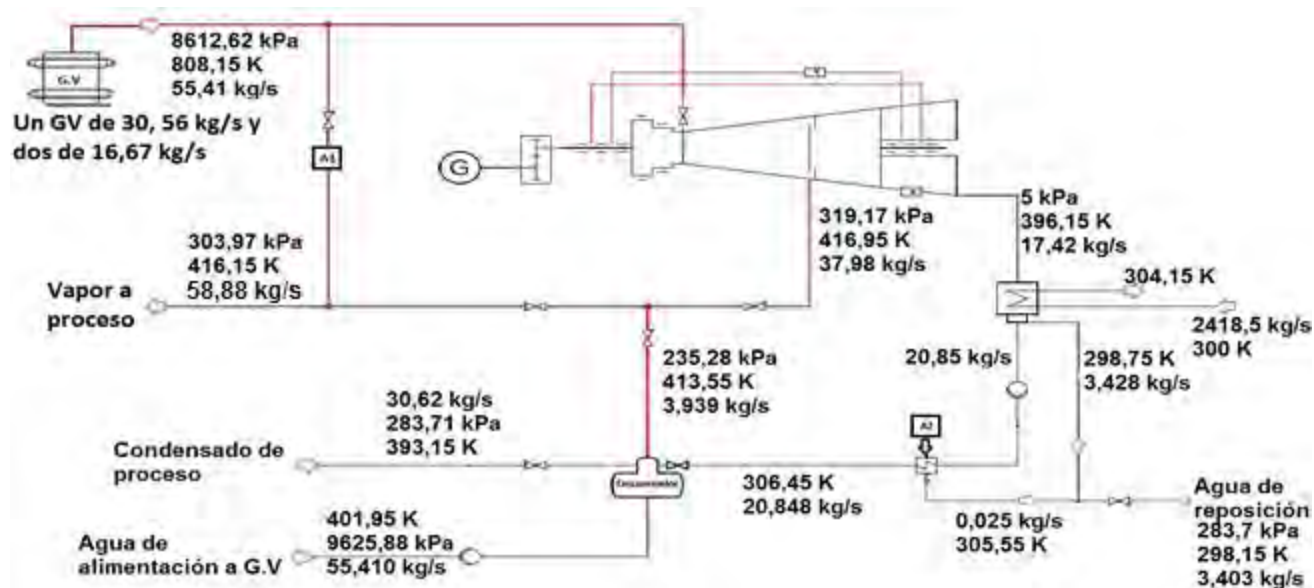


Figura 4. Diagrama de flujo de proceso (DFP) de la bioeléctrica Ciro Redondo.

generar la mayor cantidad de ganancias, en un sistema de este tipo las fuentes de ingresos y egresos fundamentales son:

- Fuentes de ingresos:
 1. Venta de electricidad al Sistema Eléctrico Nacional (SEN).
 2. Venta de azúcar comercial y miel final.
 3. En caso de que exista una destilería, venta de etanol.
 4. En un central convencional es también una fuente de ingreso la venta de bagazo sobrante al finalizar la zafra, no así para el caso de las bioeléctricas pues este se emplea para la generación de electricidad en tiempo de no zafra
- Fuentes de egresos:
 1. Compra de la caña necesaria a moler en el central.
 2. Compra de un combustible alternativo en caso de que exista déficit de bagazo como fuel oil, marabú o bagazo de un central tributario.
 3. Compra de agua de reposición si no son suficientes los condensados puros en el sistema termoenergético.
 4. Compra de electricidad al SEN en caso de que no se pueda satisfacer la demanda eléctrica del central con la potencia instalada.

Para la estimación del flujo de caja anual del conjunto bioeléctrica-ingenio se emplea el simulador STA 4.1 el cual presenta la posibilidad de realizar el cálculo económico del fichero realizado. Seleccionando la opción de cálculo económico el simulador muestra la ventana expuesta en la figura 5. Además del cálculo del flujo de caja anual en período de zafra, es necesario la estimación de este para el período de no zafra producto de la venta de electricidad al SEN que permite el TGEC en una bioeléctrica, para ello los cálculos serán realizados de igual manera con el fichero elaborado para período de no zafra.

Proyecto de inversión como propuesta de mejora para el sistema termoenergético de los casos de estudio

Como proyecto de inversión para el caso de estudio 1 correspondiente al STE de la bioeléctrica BIOCUM se propuso un cambio de los turbogeneradores existentes. Sustituyendo los dos turbogeneradores de 20.5 MW por uno de 30 MW de contrapresión y otro de extracción condensación igual al ya existente en la instalación.

Para la bioeléctrica Ciro Redondo se propone la instalación de un TGCP de 15 MW de potencia con el objetivo de aumentar la generación de electricidad en período de zafra.

Para la estimación de los costos de los TGCP se

Cálculo económico
Introduzca los datos del DFI o personalizados

Datos a analizar: Datos del DFI Tipo de análisis: Independiente

☒ Analizar caña y componentes Actualizar

Corriente de miel final	c53(Miel final)	5,9938396	kg/s
Corriente de azúcar	c54(Azúcar comercial)	18,2060892	kg/s
Corriente de bagazo sobrante	c103(Bagazo Sobrante)	5,9530794	kg/s
Déficit de condensados puros	c75(Déficit de condensados del difuso)	0	m³/s
Caña molida	147,22	kg/s	
Potencia eléctrica generada	53,9	MW	
Biomasa consumida	0	kg/s	
Petróleo consumido	0	m³/s	

Cachaza%Caña	5	%	Tiempo de operación	24	h/día	Tasa impositiva	0,35000	Fracción
Bagazo vendido	1,0000000	%	Duración de la zafra	150,000000	días	Costo de inversión	0,0000000	\$
Potencia eléctrica demandada	15300,0000	kW	Tiempo de vida económica	5	años	Depreciación	0	\$/año
						Tasa de interés	0	%

Cancelar < Atrás Siguiente > Salir

Figura 5. Ventana de entrada de datos para la realización de los cálculos económicos.

cuenta con la información disponible que toma como referencia un TGCP NG40/40 chino de 7.5 MW. Los datos referentes al costo de este equipo en dólares estadounidenses se muestran en la tabla 1.

Debido a la falta de información para la estimación de los costos sobre fletes y seguros en la transportación terrestre y marítima, cantidad de contenedores, etc. no es posible poder calcularlos; a partir de este momento se asume que los mismos son costos CIF (precio que debe pagar el cliente) de los equipos en el puerto de La Habana.

Para el cálculo del costo de adquisición del TGEC de 12.5 MW de potencia se emplea la información

de un estudio que determina de manera detallada el costo de adquisición de un equipo de este tipo de procedencia china, pero de 25 MW de potencia; los datos referentes a este equipo se muestran en la tabla 2.

Estos costos son necesarios actualizarlos en cuanto a la capacidad empleando la fórmula de Williams y por fecha mediante los índices de Marshall y Swift, con este factor se puede estimar en base al costo del equipo principal los costos inducidos tales como: instalación del equipo, compra e instalación de tuberías, circuitos eléctricos, instrumentación y controles automáticos, ingeniería, etc.

Tabla 1. Costo de un TGCP chino marca NG40/40 de 7,5 MW

Equipamiento	Cantidad de unidades	Costo unitario
Turbina de vapor de contrapresión de 7.5 MW y equipos asociados. Modelo: NG 40/40	1	1 560 000
Generador de 7.5 MW, 13.8 kV y equipos asociados	1	670 000
Sistemas de protecciones y sincronización para el generador (con sistema 220 V DC)	1	350 000
Torre de enfriamiento. Modelo: GNZF-500, 500 m³/h, 28 °C bulbo húmedo	1	153 000
Bombas de agua	2	11 000
Desobrecalentador	3	89 500
Sistema contra incendios para generador: Tanque de CO ₂ , capacidad 42 kg, 16 MPa	1	6 800
Sistema de control automático	1	192 000

Tabla 2. Costo de adquisición de TGEC chino de 25 MW en el puerto de La Habana

Equipamiento	Precio USD
Turbina extracción –condensación de 25 MW y equipos asociados.	3 950 000
Generador de 25 MW, 13.8 kV modelo WX14Z y equipos asociados.	1 810 000
Sistema de protecciones y sincronización para generador (con sistema 220 V DC)	328 000
Subtotal 1	6 088 000
Torre de enfriamiento (2 unidades)	2 140 000
Modelo: GNZF-4200, 4200 m³/h, 28 °C de bulbo húmedo.	
Bombas de agua circulación (3 unidades)	61800 *3 = 185 400.0
Desobrecalentador (2 unidades)	109000 *2 = 218 000
Sistema contra incendios para generador: Tanques (3 unid.) CO ₂ de 42 kg capacidad y presión 16 MPa	8500*3= 24 500.0
Sistema de control automático	206 000.00
Válvulas, motores de accionamiento y accesorios para el sistema de circulación	178 000.00
Subtotal 2	2 951 900
Total	9 039 900

Es conveniente señalar que en cualquiera de los procedimientos internacionales como los de Peters y Hand, los costos inducidos totales pueden fluctuar entre 1.76 a 7.08 veces mayores que el costo del equipo principal. Esto puede también ser válido para Cuba. Se prefieren los criterios de Petrides porque permite usar los valores menores en cada intervalo, lo que reduce el costo inducido total calculado. Ajustándose a las condiciones en Cuba, se puede asumir que sean un 20 % menor que en el extranjero.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis del caso de estudio 1 durante la zafra

El caso de estudio 1 se elaboró a partir de la información proporcionada por Gaspar (4), para la culminación del caso fue necesario en el área de evaporación asumir las presiones de cuerpo de cada uno de los vasos evaporadores para lograr satisfacer la demanda de los equipos acoplados a estos y alcanzar el Brix deseado a la salida, verificándolos con la información con la que se contaba. En la tabla 3 se muestran los principales indicadores para la operación de estos equipos.

1. La presión de los cuerpos de los vasos evaporadores debe ir disminuyendo como es lógico, como característica destacada del funcionamiento de estos equipos se tiene la baja presión de cuerpo en cada una de las cámaras.
2. A partir del segundo vaso se alcanza presiones de vacío (presiones menores que la atmosférica), esto mejora considerablemente la transferencia de calor en el equipo donde son empleadas las extracciones realizadas en los vasos a partir del segundo, pues para vapor saturado mientras menor es la presión, mayor es el calor latente de este, pero mayor es su volumen específico. Es lógico que se desee perseguir presiones de vacío en la operación de estos equipos, el hecho que limita esto es que si el volumen específico del vapor de extracción de los vasos es muy alto, es necesario mucha área de intercambio de calor en

los equipos de calentamiento que emplean este vapor como portador energético.

3. Las tasas de evaporación de estos equipos dan una medida de la posibilidad de arrastre de sólidos. Que exista arrastre de sólido en estos equipos compromete la recuperación de condensados puros del sistema, es por ello que es estrictamente necesario que se tomen como condensados puros los que realmente lo son, para que no exista déficit y por ende no exista necesidad de comprar agua externa al proceso lo que encarecería el mismo. Aunque en los centrales azucareros existe un laboratorio para el análisis de los condensados, se puede asumir según Pérez de Alejo (2) que las tasas de evaporación no deben superar los 39.1 kg/h m² para poder asumir sin mucho error que no existe arrastre. Como las tasas de evaporación en el múltiple, cumplen con este parámetro se puede asumir que los condensados obtenidos en estos equipos son puros.
4. En el análisis de las tasas de evaporación es muy importante verificar la tasa del último vaso del múltiple pues esta va al condensador barométrico y es una masa de vapor con contenido energético que no se aprovecha, para el múltiple efecto en cuestión esta tasa es aceptable por lo que el calor perdido en el condensador barométrico es muy elevado.

Principales indicadores operacionales del sistema termoenergético en período de zafra

1. Existe una cantidad de bagazo sobrante correspondiente a un 14 % respecto a la caña molida lo cual permite acumularlo para continuar generando electricidad en el período de no zafra.
2. No existe expulsión de vapor a la atmósfera, lo que debe ser siempre así pues el hecho de que no lo sea, compromete la factibilidad del proceso, aunque no es menos cierto que aun en Cuba existen centrales que no cumple con este importante indicador y es un hecho de que no se ha concientizado por parte de no pocos especialistas.
3. El vapor directo que pasa por la reductora es de 0.37 % respecto a la caña molida lo cual es

Tabla 3. Parámetros operacionales de los vasos evaporadores

Vaso evapo- rador	Presión de cuerpo (kPa)	Coeficiente glo- bal de transf. de calor (W/m ² K)	Tasa de evapora- ción (kg/h.m ²)	Economía	Brix alcanzado a la salida del vaso
Vaso 1 Q	151.98	1 316.62	34.93	0.92	21.05
Vaso 2 Q	82.70	1 312.84	37.56	1.00	34.23
Vaso 3 Q	53.54	982.45	15.45	1.01	46.11
Vaso 4 Q	40.20	1 608.98	12.15	1.03	53.40
Vaso 5 Q	15.13	414.24	13.77	1.13	65.05

característico de operación eficaz y eficiente, ya que la existencia de una cantidad elevada de vapor pasando por esta válvula se traduce a elevadas pérdidas exergéticas pues este vapor no realiza trabajo alguno en los turbogeneradores. El hecho de que este valor sea bajo se debe a la existencia de los turbogeneradores instalados y a la combinación de TGEC y TGCP pues los TGCP de gran capacidad permiten satisfacer una demanda elevada de proceso y la demanda restante se satisface realizando una extracción al TGEC.

4. En el proceso existe una cantidad apreciable de vapor pasando por la reductora del mismo, esto se debe fundamentalmente a que la demanda de vapor necesaria de la extracción del primer efecto del quintuple es muy elevada respecto a la evaporación obtenida en este efecto. Este parámetro se debe disminuir aumentando el Brix de la salida de este vaso lo que se traduce en una mayor evaporación. El cambio de este valor supone una modificación de la operación en la estación de evaporación en su totalidad.
5. La elevada producción eléctrica de la fábrica combinada con la demanda tan baja de la misma permite que se pueda vender una cantidad significativa de electricidad al sistema eléctrico nacional igual a 72.81 kW.h/t caña, aunque la combinación de turbogeneradores empleados limita la venta en período de no zafra, puesto que operaría solamente el TGEC que es el de menor capacidad (12.5 MW).
6. Inicialmente existía un déficit de condensados puros correspondiente a un 8 % respecto a la caña molida pues no se tomaban los condensados de los primeros vasos del múltiple para satisfacer esta demanda, estos condensados se empleaban para satisfacer la demanda de agua en el difusor y el sobrante se empleaba directamente como condensado contaminado. Al tomar el excedente como condensados puros existirá sobrante del mismo correspondiente a un 8.6 % respecto a la caña molida.
7. El porcentaje de explotación de la capacidad nominal instalada de un 91.68 % permite afirmar que los equipos instalados en el sistema son explotados prácticamente a su máxima capacidad lo que no frecuentemente ocurre en centrales cubanos. Para el tiempo de no zafra, solamente será empleado uno de los generadores pues el consumo de vapor se reduce considerablemente correspondiente al consumo específico del TGEC de 12.5 MW.
8. La eficiencia total de cogeneración en base biomasa es de un 54.58 % esto se debe fundamentalmente a que las mayores capacidades de potencia instalada son de turbogeneradores de

contrapresión por ende hay una gran cantidad de vapor que pasa por los turbogeneradores de contrapresión que además se emplea como medio de calentamiento.

9. El consumo de vapor de escape en el proceso de azúcar crudo respecto a la caña molida de 42.44 % se corresponde con los valores máximos que se deben alcanzar en los conjuntos bioeléctrica-ingenio actuales. Este consumo de vapor relativamente bajo permite, entre otras cosas, que sobre más bagazo al finalizar la zafra.
10. De mantenerse la combinación de turbogeneradores empleada no sería adecuado disminuir el consumo de vapor en el proceso, pues este hecho traería como consecuencia expulsar vapor a la atmósfera o para evitarlo, disminuir la carga de los TGCP.

Los indicadores operacionales referentes a los equipos no solo caracterizan el proceso como factible, sino que describen una elevada eficiencia en el proceso de calentamiento y evaporación de azúcar.

Análisis económico del sistema termoenergético del caso de estudio 1 en período zafra

Para estimar en período zafra a cuanto ascendió el flujo de caja de la bioeléctrica Biocom se asumió que la misma duraría 183 días, en la tabla 4 se muestran los principales ingresos y egresos de este período.

Tabla 4. Valor total de los ingresos y egresos de la bioeléctrica Biocom en zafra

Ingresos		
Concepto	Valor (CUP)	%
Azúcar	604 676 298	66,34
Bagazo	18 830	0,002
Cachaza	931 351	0,10
Electricidad	260 401 606	28,56
Miel	45 502 298	4,99
Total	911 530 386	100
Egresos		
Caña	355 776 413	100

El objetivo de este estudio económico fue únicamente para determinar el flujo de caja anual de la instalación resultando el mismo de 361 240 082 CUP. Como resultado importante de este estudio se puede observar que la venta de electricidad representa un porcentaje elevado de los ingresos totales, típico de estas instalaciones no así en los centrales cubanos actuales.

Tabla 5. Bagazo sobrante estimado para operar en no zafra

Parámetro	kg/s	kg/h	kg/d	kg/zafra	t/zafra
Bagazo sobrante	5,652	20 349	488 376	89 372 808	89 373
Días de zafra	183				
Vapor de los GV	41,67	150 012	3 600 288	Días no zafra	
Consumo de bagazo de GV	8,77	31 572	757 728	118	
Días totales de operación en el año	301				

Análisis económico del sistema termoenergético del caso de estudio 1 en período de no zafra

Para el análisis de la operación de Biocom en período de no zafra fue necesario estimar bagazo disponible para este período a partir del sobrante durante la zafra. En la tabla 5 se muestran los resultados necesarios para simular el STE de Biocom en período de no zafra.

Una vez estimado el bagazo disponible para operar en período de no zafra se determinaron las ganancias en este periodo donde solamente los ingresos son generados por concepto de venta de electricidad y ascienden a un valor de 38 016 000 CUP. El resultante flujo de caja para este período asciende a un valor de 24 710 400 CUP.

Del cálculo de los correspondientes flujos de caja de cada variante de operación del caso de estudio 1 (período zafra y no zafra) se concluye el estudio con la estimación del flujo de caja anual para este sistema resultando el mismo de 399 256 082 CUP.

Aunque se obtienen elevadas ganancias en este sistema, las mismas pueden ser incrementadas sobre todo en el período de no zafra, es por ello que fue propuesto un proyecto de inversión para aumentar la capacidad de venta de electricidad al SEN en período de no zafra, el cual es uno de los objetivos fundamentales de una bioeléctrica.

Análisis de los resultados del caso de estudio 2 en período de zafra

El estudio de los indicadores se realizó de forma comparativa tomando como referencia el caso de estudio 1, para ver los cambios que trae en el sistema el empleo de presiones mayores. Las conclusiones fundamentales de este caso fueron:

1. Existe una cantidad de bagazo sobrante (5.89 % respecto a caña) muy inferior a la del caso de estudio 1, provocado por la gran demanda de vapor que tiene el TGEC unido a que la extracción realizada recomendada en el STE de esta instalación no es suficiente para satisfacer la demanda de proceso. Esto trae consigo que el bagazo para operar en no zafra sea mínimo y si sea necesario comprar bagazo a algún central tributario u otra biomasa.

2. Debido a que la demanda de vapor de proceso no se satisface con la extracción realizada al TGEC, se necesita una cantidad significativa de vapor que debe pasar por la válvula reductora (12.81 % respecto a la caña molida).
3. La electricidad vendida al SEN es inferior que en el caso de estudio 1 debido a que el TGEC no se encuentra operando a plena carga.
4. La capacidad de los generadores de vapor instalados es mejor aprovechada debido a la alta demanda de vapor de fábrica que existe en el sistema.
5. La relación calor potencia es inferior respecto al caso anterior debido a que es necesario generar mucha mayor cantidad de vapor y la potencia generada es inferior provocado por la operación del TGEC a una capacidad aproximada de un 75 % de la carga nominal.
6. Como resultado del análisis de estos indicadores operacionales se decanta la conclusión de que en una instalación de estas características debe existir una combinación de turbogeneradores de contrapresión y de extracción condensación, ya que el TGEC aporta la posibilidad de operar en no zafra y el de contrapresión da más estabilidad al sistema pues ante algún cambio en el consumo de vapor es más fácil adaptar un TGCP a las nuevas condiciones de operación que un de extracción condensación.

Análisis económico del caso de estudio 2 en período zafra

Para el estudio económico de este caso en período de zafra se asumió duración de la zafra de 183 días y el objetivo fundamental del estudio fue la determinación del flujo de caja anual en período zafra. En la tabla 6 se muestran los principales egresos e ingresos.

Al igual que en el caso de estudio 1, la venta de electricidad juega un rol muy importante para las ganancias de esta instalación en período de zafra. El flujo de caja para la bioeléctrica Ciro Redondo asciende a 282 130 623 CUP; es importante hacer notar que, aunque en esta instalación la potencia instalada es superior a la analizada anteriormente

Tabla 6. Ingresos y egresos del caso de estudio 2 en período de zafra

Ingresos		
Concepto	Valor	%
Azúcar	488 959 730	61.90
Bagazo	0	0
Cachaza	931 351	0.11
Electricidad	260 815 665	33.04
Miel	3 911 6778	4.95
Total	789 823 526	100
Egresos		
Concepto	Valor	%
Caña	355 776 413	100
Total	355 776 413	100

los ingresos son prácticamente iguales al caso anterior en período zafra al menos, pues el TGEN instalado no se puede operar a la máxima capacidad, el hecho de que se reduzcan tanto los ingresos está asociado a que el rendimiento industrial es un 2 % menor en este caso que en el anterior, esto permite ver como un cambio tan pequeño en este indicador varía el flujo de caja en aproximadamente 80 millones de pesos.

Análisis del caso de estudio 2 en período de no zafra

Para el estudio del caso en cuestión en período de no zafra fue necesario determinar el bagazo disponible en el central para operar una vez terminada la zafra. En la tabla 7 se muestra el resultado del cálculo del bagazo disponible para este período.

Como se puede apreciar, la operación de este STE solamente con bagazo se ve muy limitada con respecto al caso analizado anteriormente, los días de operación en período de no zafra se ven reducidos en un 35.5 %. El hecho del empleo de un turbogenerador de una capacidad tan grande como lo es el empleado no solo conlleva a deficiencias en la

operación durante la zafra, sino que limita la generación de electricidad en período de no zafra si se fuese a operar solamente empleando bagazo sobrante, es por ello que se verán reducidos los beneficios para este sistema comparado con sus potencialidades reales. Otro aspecto de importancia a tener en cuenta es que en este caso, uno de los generadores de vapor sí se explota a su máxima capacidad mientras que el segundo en existencia se explota un 28.12 % de su capacidad nominal condicionado por la elevada demanda de vapor del TGEN instalado en el sistema. Un resultado de importancia notable para este sistema es que por la posibilidad de operar el TGEN a máxima carga y hacerse mucho menor el consumo de electricidad de la instalación en este período, este último parámetro contemplando solamente el consumo de la sección de generación de electricidad, (generadores de vapor y turbogenerador) se producen más kW.h de electricidad, aunque no se aprecian muchos beneficios económicos por el poco tiempo de operación en no zafra. Es necesario dejar claro que los cálculos fueron realizados asumiendo que solamente se contaba con bagazo para generar vapor como parámetro común para ambos casos, es evidente que de existir un combustible alternativo (biomasa) se pudiese incrementar notablemente el flujo de caja en este período y del año en general.

Análisis económico del caso de estudio 2 en período de no zafra

Con el bagazo disponible para operar en este período y los días de operación se determinaron los beneficios obtenidos en este STE por concepto de venta de electricidad, estos ascienden a 28 505 199 CUP, una vez determinadas las ganancias para este período y restándole el impuesto sobre la ganancia se determinó en el flujo de caja siendo el mismo de 18 528 379 CUP.

En este caso de estudio al igual que en el caso anteriormente analizado para período de no zafra los beneficios obtenidos son netamente debidos a la venta de electricidad, no existen egresos asociados pues no se compra en este período ninguna materia prima, es por ello que se evidencia la necesidad de

Tabla 7. Estimación del bagazo disponible para operar en el caso de estudio 2 en período de no zafra

Parámetro	kg/s	kg/h	kg/d	kg/zafra	t/zafra
Bagazo sobrante	2,47	8 892	213 408	39 053 664	39 053
Días de zafra	183				
Vapor de los GV	55,82	200952	4822848	Días no zafra	
Consumo de bagazo de GV	26,83	96 588	23 18 112	17	
Días totales de operación en el año	200				

contar en estas instalaciones con TGEC. Por otra parte, aunque el tiempo de operación para el caso de estudio 2 en este período es notablemente menor, los ingresos no difieren tanto respecto al caso de estudio 1 debido a lo mencionado anteriormente sobre la capacidad del TGEC instalado, aunque se ve muy limitada su operación pues es inaudito para el diseño conceptual adecuado de una instalación de este tipo que no se logre operar y explotar las po-

tencialidades de sus equipos. Este caso demuestra una operación ineficaz e ineficiente en un conjunto bioeléctrica ingenio.

Una vez determinados los flujos de caja correspondientes para cada período de operación se puede concluir que el flujo de caja anual para el caso de estudio 2 es 300 659 002 CUP, inferior al caso de estudio anterior en un 24.6 % debido a la diferencia de días de operación de los dos conjuntos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Curbelo, A. Uso actual de la energía y oportunidades para la introducción de las tecnologías utilizando biomasa en América Latina. 2002, GEPROP/CRIMEA: IPROYAZ. p. 20.
 2. Pérez de Alejo, H.E. Sistema Termoazúcar, Ayuda STA 4.1. 2016.
 3. Rein, P. Cane Sugar Engineering. 2007: Berlin. p. 746.
 4. Gaspar, J. Diagrama de proceso para la operación de la Bioeléctrica Biocom en período zafra, D. bioeléctrica, Editor. 2017.
 5. ECIAZ, S.A. Premisas Compendio De Cálculos Energeticos 25 Bioelectricas. 2017, ECIAZ S.A.
-

Disminución del impacto ambiental por reducción del consumo de energía eléctrica y agua

Yaima Izquierdo-González*, José Alberto Pérez-Hernández, Yohana de la Hoz-Izquierdo

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (Icidca).

Vía Banca 804 y Carretera Central. San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba.

* yaima.izquierdo@icidca.azcuba.cu

RESUMEN

La disminución en el consumo de energía eléctrica y agua en los procesos de fabricación de azúcar, es uno de los principales retos que enfrenta la industria azucarera cubana con vista a lograr su crecimiento y sostenibilidad económica y medio ambiental. En los últimos años se han venido instalando en esta industria condensadores de alta eficiencia, es decir, condensadores de bajo consumo de agua, sin embargo, se han mantenido las mismas instalaciones de bombeo sin modificaciones por lo que no se ha experimentado ahorros económicos, siendo estas instalaciones altas consumidoras de electricidad y de agua. En este trabajo se exponen algunas consideraciones para realizar el cambio de condensadores de alta eficiencia junto alas modificaciones de las bombas de inyección y reducir el consumo de potencia, lo que trae aparejado la disminución del agua de recirculación al condensador y así se reduce también el consumo de agua de aportación al enfriadero. Estas modificaciones que se proponen realizar son de baja inversión y no requieren de talleres especializados para ejecutarlas, sin embargo su efecto económico es sustancial.

Palabras clave: energía, electricidad, agua, industria azucarera.

ABSTRACT

The decrease in the electric energy consumption and it dilutes in the manufacturing processes of sugar, it is one of the main challenges that faces the Cuban sugar industry with view to achieve their growth and economic and half environmental sostenibilidad. In the last years one has come installing in this industry condensers of high efficiency, that is to say, condensers of under consumption of water, however, they have stayed the same facilities of pumping without modifications for what has not been experienced economic savings, being these facilities high electricity consumers. In this work some considerations are exposed that should be harnessed to the change of condensers of high efficiency to also modify the injection pumps to reduce the consumption of power. Jointly with the reduction of the consumption of power like it diminishes the recirculation water to the condenser also decreases the consumption of contribution water to the enfriadero. These modifications that intend carry out they are of low investment and they don't require of specialized shops to execute them, however their economic effect is substantial.

Key words: energy, electricity, water, sugar industry.

INTRODUCCIÓN

Los nuevos diseños de condensadores que se comienzan a emplear en la industria azucarera permiten una reducción en el consumo de agua para su operación óptima (1). Una reducción en el consumo de agua trae aparejado una reducción proporcional en el consumo de energía eléctrica al reducirse el caudal de agua manejado por las bombas de inyección. Conjuntamente una menor velocidad del fluido por las instalaciones existentes produce una reduc-

ción de la carga dinámica, elemento este asociado a las pérdidas por fricción del fluido. Esta es la razón por la cual se debe tener bien concebido y diseñado el sistema para reducir al mínimo el consumo de potencia.

Los condensadores existentes en la mayoría de los centrales llevan muchos años de explotación y algunos van llegando a su vida útil de operación, esto ha permitido que en múltiples centrales se encuentren realizando inversiones con el objetivo de sustituir los condensadores actuales por otros más

eficientes que consuman menos volúmenes de agua para realizar de forma eficiente la misma operación.

En muchos de los casos se realiza la inversión de cambio de los condensadores y se mantiene sin ningún cambio o transformación las bombas de inyección. Esto provoca que la instalación opere correctamente, pero no se produce ningún ahorro energético en el sistema. Por lo que los nuevos condensadores siguen trabajando con el mismo caudal del diseño anterior.

DESARROLLO

Desde el punto de vista de diseño, el consumo de agua de los condensadores, es decir, el caudal de agua que manipulan las bombas de inyección oscila alrededor de 4500 galones/min para centrales de 1000 tonelada de caña molida. En los nuevos diseños de condensadores, estos volúmenes de agua se reducen hasta 3500 galones/min, lo que representa una disminución en el caudal de agua de aproximadamente 1000 galones (22 %).

Analizando lo anterior y conociendo (2) que:

$$P = (\rho * g * Q * H) / 1000 * \eta \quad (\text{Ecu. 1})$$

Donde:

P = Consumo de potencia en (kW)

ρ = Densidad del fluido (kg/m³)

g = Gravedad específica (9.8 m/s²)

Q = Caudal de agua de inyección (m³/s)

H = Carga del sistema, carga estática y dinámica (m)

η = Eficiencia del conjunto bomba – motor (%)

Se puede deducir que la reducción en el consumo de agua de un 22 %, reportará una disminución en ese mismo orden en el consumo de potencia, es decir, menor consumo de electricidad.

Cálculo aproximado del ahorro producido

Empleando la ecuación 1, se puede determinar el ahorro producido al modificar la bomba de inyección cuando se montan los nuevos condensadores.

Influencia sobre el medio ambiente (3)

La disminución en el consumo de electricidad en la industria, si se realizan las modificaciones en las bombas de inyección, se elevaría hasta 365 472 kWh/añual. Esto significa un ahorro de 87.713 t de combustible fósil en las termoeléctricas, suponiendo un índice de generación de 240 g/kWh. Esto permite una reducción aproximada de 247 t de CO₂, principal gas de efecto invernadero, considerando un índice de emisiones de 2.82 t CO₂/combustible fósil (4, 5). Informaciones oficiales reflejan valores record de emisión de CO₂ en la atmósfera de 400 ppm (6). Las personas que respiren aire con una concentración de sólo 700 ppm, morirán en pocas horas. La concentración máxima en el puesto de trabajo es 50 ppm (7).

Tabla 1. Comparación de los parámetros de una bomba antes y después de la modificación

Elemento	Bomba de inyección sin modificar	Bomba de inyección modificada
Densidad del fluido.	1 000 kg/m ³	1 000 kg/m ³
Gravedad específica.	9.81 m/s ²	9.81 m/s ²
Caudal de agua de inyección total, incluyendo todos los condensadores del proceso.	30 000 galones/min (136.38 m ³ /min) (2.27m ³ /s)	21 000 galones/min (95.46 m³/min) (1.59m³/s)
Carga del sistema (estática y dinámica).	15 m	15 m (*)
Eficiencia de la instalación.	0.71 %	0.71%
Consumo de potencia.	470 kWh	329 kWh
Precio del kWh(**).	0.15 \$	0.15 \$
Horas de operación en una zafra.	2 592 h/ anuales	2 592 h/anuales
kWh consumido.	1 218 240 kWh	852 768 kWh
Pago de electricidad por consumo.	182 736 \$/anuales	127 915.2 \$/anuales
Ahorro monetario por reducción en el consumo de electricidad.	-	54 820.8 \$/anuales

*En realidad este valor también se reduce pues al disminuir el caudal en la misma instalación, el elemento de la carga dinámica que forma parte de la carga del sistema se reduce.

**Se tomó el precio de venta al sistema eléctrico nacional, pues cada kWh ahorrado en el proceso industrial puede ser vendido.

Esta energía ahorrada en la industria, generada con biomasa puede ser vendida a la red eléctrica, siendo una energía limpia y renovable. Incrementando los beneficios económicos para el central por concepto de venta de esta energía eólica.

¿Qué hacer para realizar las modificaciones tecnológicas?

Estos equipamientos son muy costosos por su robustez y tamaño, pues el conjunto bomba-motor son de grandes capacidades. Además el mecanismo motriz (motor eléctrico) es de baja velocidad de rotación por lo que suelen ser equipos muy caros.

Las bombas pueden ser modificadas a los nuevos parámetros de operación de caudal y carga estática y dinámica sin ser sustituidas; estas modifica-

ciones pueden ser realizadas en el propio taller del central azucarero.

Las modificaciones consisten en maquinar el impelente siguiendo las ecuaciones de semejanza hasta alcanzar los parámetros de operación deseados. Estas ecuaciones son:

$$Q_2/Q_1 = N_2/N_1 = D_2/D_1 = (H_2/H_1)^2 = (P_2/P_1)^3 \quad (\text{Ecu. 2})$$

Donde:

Q = Capacidad

N = Revoluciones de la bomba

H = Carga estática y dinámica

P = Potencia

Como se observa la relación caudal, revoluciones, diámetro es una relación directa, sin embargo la carga tiene una influencia cuadrática y la relación con la potencia es cúbica.

A continuación se realizará un ejemplo ilustrativo para mostrar cómo se debe realizar la modificación propuesta.

Ejemplo:

Se calcula cuál debe ser el diámetro final de una bomba centrífuga de doble succión, utilizada para el bombeo de agua a los condensadores de vapor de un central azucarero. Si el caudal a la que operan es de 30000 gpm, esta bomba tiene un diámetro de 950 mm. Después de ser sustituido los condensadores actuales por condensadores de mayor eficiencia, los caudales de agua de operación serán de 21000 gpm.

Datos:

$Q_1 = 30\,000$ gpm

$Q_2 = 21\,000$ gpm

$D_1 = 950$ mm

$D_2 = ?$



Figura 1. Instalación de bomba de inyección.

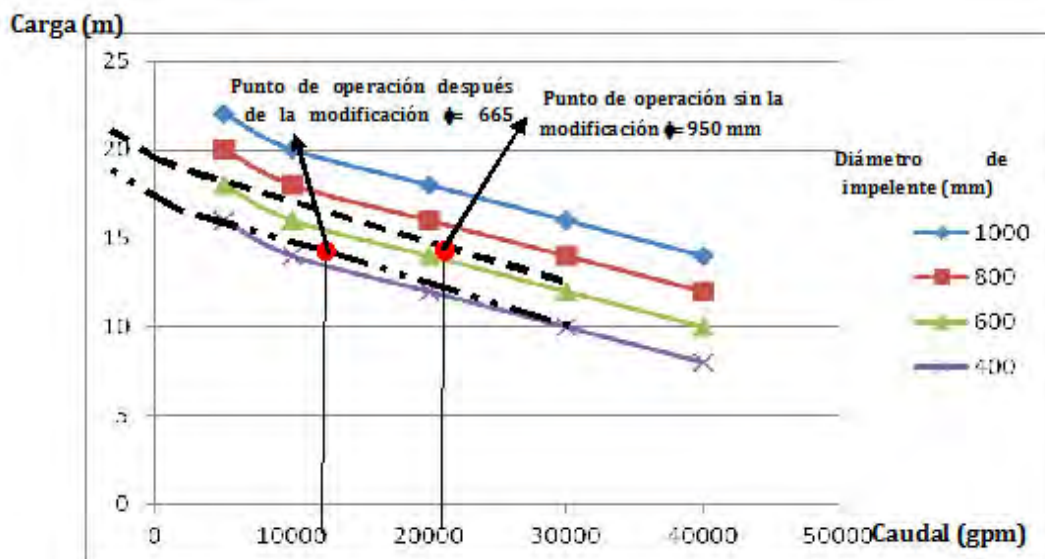


Figura 2. Curva de caudal vs carga para diferentes impelentes de una bomba.

Para el cálculo del nuevo diámetro que garantice los volúmenes de agua que requiere el proceso se utilizarán las ecuaciones de semejanzas conocidas:

$$Q_1/Q_2 = D_1/D_2 \quad (\text{Ecu. 3})$$

$$D_2 = (D_1 * Q_2) / Q_1 \quad (\text{Ecu. 4})$$

$$D_2 = (950 * 21\,000) / 30\,000$$

$$D_2 = 665 \text{ mm}$$

Si el impelente se maquina hasta el diámetro de 665 mm, el nuevo caudal de la bomba será de 21000 gpm con el consiguiente ahorro de energía eléctrica del proceso.

La figura 2 muestra el ejemplo gráfico de caudal vs carga de la bomba anterior.

Esto permitirá disponer de un excedente de energía eléctrica que puede utilizarse para la venta al sistema energético nacional.

2. Las modificaciones a realizar por la sencillez y facilidad técnica pueden ser calculadas por el departamento técnico y orientadas a que el mantenimiento se ejecute en los talleres de los centrales.
3. El ahorro de electricidad por estas modificaciones fue de 365 472 kWh, representando un monto económico de 54 820.8 \$/ anuales.
4. La venta de energía eléctrica generada con biomasa (energía limpia), a la red nacional, permite una reducción en la emisiones de CO₂ y SO₂, al dejar de consumir combustibles fósiles en la generación de esta energía.

CONCLUSIONES

1. El proceso de cambio de los sistemas de condensadores a sistemas más eficientes debe estar aparejado a modificaciones en el sistema de las bombas de inyección para reducir el consumo de potencia de estos motores y del propio proceso.

RECOMENDACIONES

Se recomienda que se modifiquen los sistemas de condensadores de los centrales a fin de tener menores índices de consumo por tonelada de caña molida y reducir los volúmenes de agua que se emplean en el proceso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Díaz, E. Manual de diseñados de equipos para la industria azucarera, ICINAZ, 2da edición, 2008, pag 26.
 2. Karassik, I.J.; Krutzsch, W.C.; Fraser, W.H. and Messina, J.P. Pump Handbook, segunda edición, 1993, pág 2.31.
 3. Marrero, Y. Soluciones prácticas para mejorar la eficiencia del sistema de tratamiento de residuales líquidos en la industria azucarera "Antonio Sánchez". Trabajo de Diploma, Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez", Facultad de Ciencias Agrarias, 2013, pag 16 -19.
 4. Colt Industries, Fairbanks Morse Pump Division. Hydraulic Handbook, seventh edition, 1973, pp. 27-33.
 5. Paulino, *et al.* Bioeléctrica de bagazo "Héctor Molina", Mayabeque, Cuba, 2009.
 6. Órgano oficial del Comité Central del Partido Comunista de Cuba. Periódico Granma, martes 27 de mayo 2014, edición única.
 7. Gases de combustión, Argentina SA. (Consultado el 20 de marzo del 2014, <http://www.academiatesto.com.ar/cms/?q=gases-de-combustion-1>).
-

Empleo de microorganismos eficientes como alternativa para el tratamiento de residuales. Revisión bibliográfica

Evelyn Faife-Pérez, Dianelis Roget-Guevara, Claudia A. Fandiño-Rodríguez, Indira Pérez-Bermúdez, Yohana de la Hoz-Izquierdo, Keyla Tortoló-Cabañas, Georgina Michelena-Álvarez

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (Icidca).

Via Banca 804 y Carretera Central. San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba.

*evelyn.faife@icidca.azcuba.cu

RESUMEN

El presente trabajo es resultado de la revisión bibliográfica realizada sobre el empleo de la tecnología de microorganismos eficientes (EM) como alternativa para el tratamiento de aguas domésticas e industriales así como de residuos sólidos generados en los procesos industriales, en las producciones agrícolas y en la basura. Como resultado de este estudio se concluye que los EM son bien aceptados en toda clase de unidades productivas, ya sean agrícolas, pecuarias o medioambientales. Su aplicación hace posible la transformación de los residuos orgánicos en abonos de excelente calidad utilizados en programas de producción limpia, reducen drásticamente los gases emitidos producto de los malos olores y la presencia de vectores, permite recuperar aguas residuales disminuyendo la producción de lodos, mejorando la calidad de la misma y minimizando diferentes impactos generados al medio ambiente, mejoran la biota y las propiedades del suelo disminuyendo los costos de la producción agrícola, aumentando la cantidad de cosechas y por lo tanto aumentando los ingresos del agricultor. Su empleo directo en los biodigestores o en una etapa previa de pretratamiento a la materia orgánica empleada, incrementa los niveles de producción de biogas.

Palabras clave: microorganismos eficientes, tratamiento, aguas residuales, biogas.

ABSTRACT

This work is review carried out about the use of efficient microorganism (EM) technology as an alternative for the treatment of domestic and industrial waters as well as solid waste generated in industrial processes, agricultural production and waste. As a result of this study it is concluded that MEs are well accepted in all kinds of productive units, whether agricultural, livestock or environmental, their application makes possible the transformation of organic waste into high quality fertilizers used in clean production programs, drastically reduce the gases emitted as a result of bad odors and the presence of vectors, allows wastewater to be recovered, decreasing sludge production, improving the quality thereof and minimizing different impacts generated to the environment, improving biota and reducing soil properties the costs of agricultural production, increased the quantity of crops and therefore increased the income of the farmer. Its direct use in biodigesters or in a previous stage of pretreatment to the organic matter used, increases the levels of biogas production.

Key words: efficient microorganisms, treatment, wastewaters, biogas.

INTRODUCCIÓN

Durante siglos, uno de los problemas más constantes que el ser humano ha enfrentado es el dilema de cómo disponer de la basura que genera. Para el próximo siglo se espera el incremento de la población mundial en unos diez billones, por lo que nunca

antes en la historia el tema del depósito de la basura ha ejercido tanta presión.

La basura orgánica generada por la producción animal, agrícola, marina, industrial, así como la basura municipal, se ha convertido en la principal fuente de contaminación tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo (1). La contaminación de

las aguas es uno de los factores más importantes que rompen la armonía entre el hombre y su medio, no solo de forma inmediata sino también a mediano y largo plazo; por tanto, la prevención y lucha contra dicha contaminación constituye una necesidad de importancia prioritaria (2).

En la actualidad, las ciudades vierten aguas residuales parcialmente tratadas y no tratadas en las aguas superficiales y subterráneas de las inmediaciones. La carga contaminante aumenta con los vertimientos de procesos industriales, la infiltración de los residuos de fertilizantes y plaguicidas utilizados en la agricultura, los desechos domésticos, entre otros. Como resultado de estas actividades resulta que sólo alrededor de un tercio del recurso potencial, se puede aprovechar para las necesidades de las personas, proporción que va disminuyendo a medida que aumenta la contaminación (3). Por esto es necesario hacer una división de los procesos de limpieza, simplificándolos y estableciendo los objetivos que se persiguen con cada sistema utilizado, para poder medir su eficacia.

Esta versatilidad de desechos que se produce ha obligado a los ingenieros a buscar, encontrar y aplicar alternativas de tratamientos de depuraciones eficientes, autónomas y económicamente viables, desarrollándose así diversos sistemas de tratamiento para los desechos líquidos.

El tratamiento de las aguas residuales industriales ha tomado fuerza durante los últimos años, con el objetivo de que este recurso no renovable pueda ser aprovechado y a su vez cumpla con los requerimientos exigidos por la normatividad ambiental existente (4).

Los sistemas de tratamiento pueden reconocerse en base a su ubicación en el proceso de limpieza como: primarios, secundarios y avanzados y los procesos utilizados principalmente son físicos, químicos y biológicos. Hay una gran variedad de métodos para la descontaminación de aguas y aguas residuales (AR). Entre ellos se encuentran la utilización de microorganismos, denominados eficientes (EM) y su importancia resulta en que enriquecen la microflora balanceando los ecosistemas microbiales y suprimiendo microorganismos patógenos sin generar subproductos contaminantes (5).

Teniendo en cuenta estos elementos, el propósito de este trabajo es abordar aspectos importantes acerca del uso de microorganismos eficientes como una alternativa de tratamiento de materiales y corrientes de desecho o residuales.

DESARROLLO

Microorganismos eficientes (EM)

El término “microorganismos eficientes” (EM) o en inglés *efficient microorganisms* (EM) se emplea

para denotar cultivos mixtos específicos de microorganismos benéficos conocidos que son empleados efectivamente como inoculantes microbianos (6). La tecnología de los microorganismos eficientes fue desarrollada por Teruo Higa, profesor de horticultura de la Universidad de Ryukyus en Okinawa, Japón. A comienzos de los años sesenta, el profesor Higa comenzó la búsqueda de una alternativa que reemplazara los fertilizantes y plaguicidas sintéticos y en los últimos años ha incursionado en su uso en procesos de compostaje, tratamiento de aguas residuales, ganadería y para el uso en la limpieza del hogar. Estudiando las funciones individuales de diferentes microorganismos, Higa encontró que el éxito de su efecto potenciador estaba en su mezcla; por esto se ha planteado que los microorganismos eficientes (EM) trabajan en sinergia, ya que la suma de los tres tiene mayor efecto que cada uno por separado (7).

Los EM proceden de cinco especies diferentes: bacterias fototróficas o fotosintéticas, bacterias ácido lácticas, levaduras, actinomicetos y hongos de fermentación. Estos microorganismos son muy conocidos, puesto que se llevan utilizando en medicina y en la producción de alimentos desde la antigüedad, siendo muy beneficiosos para los suelos, agua, plantas, animales y, por supuesto, para el ser humano. Los microorganismos que constituyen la fórmula de esta tecnología no han sido químicamente sintetizados ni alterados con ingeniería genética, no son nocivos, ni tóxicos, ni genéticamente modificados por el hombre; por el contrario son naturales, benéficos y altamente eficientes, simplemente han sido seleccionados de la misma naturaleza por sus cualidades beneficiosas y se han puesto a actuar juntos (8, 9).

Composición de los microorganismos eficientes

Los microorganismos eficientes o EM, son un cultivo mixto de microorganismos benéficos (fundamentalmente bacterias fotosintéticas productoras de ácido láctico, levaduras, actinomicetos y hongos fermentadores) que pueden aplicarse como inoculante. Los diferentes tipos de microorganismos en el EM, toman sustancias generadas por otros organismos basando en ello su funcionamiento y desarrollo (10).

La base de la tecnología de EM es la mezcla de diferentes tipos de microorganismos, todos ellos benéficos, que poseen propiedades de fermentación, producción de sustancias bioactivas, competencia y antagonismo con patógenos, todo lo cual ayuda a mantener un equilibrio natural entre los microorganismos que conviven en el entorno, trayendo efectos positivos sobre la salud y bienestar del ecosistema (3). El descubrimiento del Dr. Higa consistió en hallar la forma de que estos grupos de microorganismos pudieran coexistir, realizando una combinación con efecto sinérgico, es decir que la tarea en equipo es superior a la suma de sus miembros individuales. *Bacterias fototróficas* (*Rhodospseudomonas sp.*)

Las bacterias fototróficas son un grupo de microorganismos independientes y autosuficientes. Estas bacterias sintetizan sustancias útiles de secreciones de raíces, materia orgánica y/o gases dañinos como el ácido sulfhídrico (H_2S) con el uso de luz solar y calor del suelo como fuentes de energía. Estas sustancias útiles son aminoácidos, ácidos nucleicos, sustancias bioactivas y azúcares, los cuales promueven el crecimiento y desarrollo de la planta.

Los metabolitos de estos microorganismos son absorbidos directamente por las plantas y actúan como sustratos para el incremento poblacional de microorganismos benéficos. Por ejemplo, en la rizósfera se incrementan las micorrizas vesicular arbuscular (VA) gracias a la disponibilidad de compuestos nitrogenados (aminoácidos) que son secretados por las bacterias fototróficas. Las micorrizas VA en respuesta incrementan la solubilidad de fosfatos en el suelo y, por ello, otorgan fósforo que no estaba disponible a las plantas. Las micorrizas VA también pueden coexistir con *Azobacter* y *Rhizobium*, incrementando la capacidad de las plantas para fijar nitrógeno de la atmósfera (11).

Dentro del gremio de organismos fotosintéticos que forman parte del EM se encuentra *Rhodopseudomonas palustris*. Estas son bacterias fototróficas facultativas clasificadas dentro de las bacterias púrpura no del azufre, comprendiendo un grupo variado, tanto en morfología, filogenia y su tolerancia a diferentes concentraciones de azufre. Son microorganismos capaces de producir aminoácidos, ácidos orgánicos y sustancias bioactivas como hormonas, vitaminas y azúcares empleados por otros microorganismos, heterótrofos en general, como sustratos para incrementar sus poblaciones. La *Rhodopseudomonas palustris* es encontrada comúnmente en suelo y aguas y posee un metabolismo muy versátil al degradar y reciclar gran variedad de compuestos aromáticos, como bencénicos de varios tipos encontrados en el petróleo, lignina y sus compuestos constituyentes y por lo tanto está implicado en el manejo y reciclaje de compuestos carbonados. No sólo puede convertir dióxido de carbono (CO_2) en material celular, sino también nitrógeno (N_2) en amonio y producir hidrógeno (H_2) gaseoso.

Este microorganismo crece tanto en ausencia como en presencia de oxígeno. En ausencia de oxígeno, obtiene toda su energía de la luz por medio de la fotosíntesis, crece y aumenta su biomasa absorbiendo CO_2 , pero también puede crecer degradando compuestos carbonados tóxicos y no tóxicos donde el oxígeno esté presente llevando a cabo la respiración (6).

Su crecimiento óptimo ocurre a una temperatura de 30-37 °C y pH 6.9 (rango 5.5-8.5). Debido a la gran variedad de rutas metabólicas que puede llegar a tomar este microorganismo según sus necesidades y condiciones ambientales, como parte del

mismo produce una serie de enzimas y coenzimas según sea el caso, dentro de las que se encuentran amilasas, hidrolasas y proteasas, así como ubiquinonas y la coenzima Q10, las cuales participan directamente en los procesos de remoción de sulfuro de hidrógeno, nitratos, sulfatos, sulfitos, hidrocarburos, halógenos y nitratos reduciendo de esta forma la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO).

Teniendo en cuenta las condiciones de crecimiento de esta bacteria fototrófica así como, los estudios reportados en el Manual de usos de microorganismos eficaces para agua residual (6), donde se optimiza el crecimiento de estos microorganismos bajo condiciones de anaerobiosis para el tratamiento de aguas residuales, se considera que las poblaciones de estos microorganismos pueden llegar a adaptarse de forma exitosa a las condiciones que presentan las aguas residuales domésticas.

Bacterias ácido lácticas (Lactobacillus sp.)

Dentro de los microorganismos que conforman el consorcio de los EM, los más abundantes son las bacterias ácido lácticas. Estos microorganismos producen ácido láctico a partir de azúcares y otros carbohidratos generados por bacterias fotosintéticas y levaduras, como parte de su metabolismo. El ácido láctico es un componente con propiedades bactericidas que puede suprimir a los microorganismos patógenos, mientras ayuda a la descomposición de la materia orgánica, incluso en el caso de compuestos recalcitrantes como la lignina o la celulosa, ayudando a evitar los efectos negativos de la materia orgánica que no puede ser descompuesta (12).

Las bacterias ácido lácticas tienen la habilidad de suprimir enfermedades incluyendo aquellas provocadas por algunos microorganismos como los del género *Fusarium*, que aparecen en programas de cultivos continuos. En circunstancias normales, algunas especies de *Fusarium* debilitan las plantas, exponiéndolos a enfermedades y poblaciones grandes de plagas como los nemátodos. El uso de bacterias ácido lácticas reducen las poblaciones de nemátodos y controla la propagación y dispersión de *Fusarium*, y gracias a ello induce un mejor ambiente para el crecimiento de los cultivos (13).

No existe mucha información precisa acerca de la forma en la cual actúan las bacterias ácido lácticas en el tratamiento de las aguas contaminadas, pero teniendo en cuenta sus características, se plantea que al disminuir el pH se genera una inhibición de patógenos. Sin embargo, no sólo el ácido láctico es responsable de los efectos antimicrobianos generados por los lactobacilos (6).

En lo que se refiere a los requerimientos de crecimiento para el grupo de las bacterias ácido lácticas, se encuentran que generalmente estas son bacterias microaerófilas, razón por la que debe procurarse que la incubación se realice en una atmósfera con 5

% de CO₂. Por lo general, para su crecimiento se emplea una incubación de 3 días, a 37 °C o hasta 5 días a 30 °C, puesto que son microorganismos de crecimiento relativamente lento y sus rendimientos metabólicos dependen de la temperatura directamente.

Levaduras (Saccharomyces sp.)

El tercer grupo dentro de los gremios de microorganismos presentes en EM son las levaduras. Todos los miembros de *Saccharomyces* emplean diversas fuentes de carbono y energía. En primer lugar se encuentran la glucosa y la sacarosa, aunque también pueden emplearse fructuosa, galactosa, maltosa y suero hidrolizado, pero no puede asimilar lactosa. También puede utilizarse etanol como fuente de carbono. El nitrógeno asimilable debe administrarse en forma de amoníaco, urea o sales de amonio, aunque también se pueden emplear mezclas de aminoácidos. El nitrato y el nitrito no pueden ser asimilados.

Aparte del carbono y el nitrógeno, los macroelementos indispensables para su desarrollo son el fósforo que se emplea comúnmente en forma de ácido fosfórico y el Mg²⁺ como sulfato de magnesio, que también provee azufre. Finalmente también son necesarios el Ca²⁺, Fe²⁺, Cu²⁺ y Zn²⁺, como elementos menores. Un requerimiento esencial está constituido por las vitaminas del grupo B como biotina, ácido pantoténico, inositol, tiamina, piridoxina y niacina. Existen sin embargo, algunas diferencias entre las distintas cepas y casi la totalidad requiere la biotina.

Estos microorganismos sintetizan sustancias antimicrobianas a partir de azúcares, y aminoácidos secretados por las bacterias fotosintéticas, también producen sustancias bioactivas como hormonas y enzimas que son sustancias empleadas por las bacterias ácidas lácticas presentes en el gremio de EM (10).

Como parte de su metabolismo fermentativo, las levaduras producen etanol en relativamente altas concentraciones, que es también reconocido como sustancia antimicrobiana. Se asume por lo tanto que al degradar los carbohidratos presentes en aguas residuales, se producirá etanol, el cual puede funcionar como sustancia antagónica frente a microorganismos patógenos.

Así mismo, para las poblaciones de levaduras, la temperatura óptima se ha establecido en 28.5 °C, dado que a mayores temperaturas disminuye el rendimiento, probablemente debido al aumento de energía de mantenimiento. El rendimiento celular puede también afectarse por la presencia de inhibidores como dióxido de azufre (SO₂), ácido aconítico y metales pesados o restos de herbicidas o bactericidas que pueden estar presentes en las mieles.

Activación de los EM

Los EM se encuentran en un estado latente, por lo que al utilizarlos el efecto de estos es un poco lento. Para evitar esto se puede activar el EM y el

subproducto es llamado EMa. El proceso para activar el EM es mezclar el producto con agua de buena calidad y miel de caña de azúcar. Se debe procesar en un recipiente cerrado para ofrecer un ambiente anaeróbico y la solución estará finalizada cuando alcance un pH de 3.5. El EMa nunca debe ser reactivado por dos razones: primero esto puede causar contaminación en la mezcla y segundo el balance microbiano es alterado y la eficacia del EM se pierde. Para activar los EM es necesaria la siguiente dosificación: 3:5 % de EM, 5 % de miel de caña de azúcar diluida en 90-92 % de agua (14).

El proceso de activación de EM sirve para la multiplicación de microorganismos, de esta forma se pueden reducir costos de aplicación, ya que luego de la activación el EMa se debe diluir en agua a diferentes porcentajes según su aplicación (15). Se utiliza miel como fuente de energía para la activación de EM, además también contiene proteínas y minerales útiles para los microorganismos, a diferencia del azúcar refinada que solo contiene sacarosa. La temperatura óptima de activación es entre 25 °C y 37 °C, ya que fuera de estos rangos la velocidad de reproducción de estos microorganismos se reduce considerablemente.

Proceso químico de fermentación de los EM

En el proceso de fermentación las bacterias ácidas lácticas generan ácidos orgánicos como resultado de su metabolismo, utilizando como sustrato los derivados de la materia orgánica producida en la hidrólisis. Luego las bacterias fototrópicas se encargan de producir ácido sulfúrico para ser aprovechadas por las bacterias reductoras de sulfatos produciendo sacáridos. Estos sacáridos vuelven a ser reprocesadas junto con los demás derivados de la materia orgánica para repetir el ciclo.

Las bacterias fototrópicas son el pivote central de la efectividad del EM que utilizan la luz solar y ácidos orgánicos para multiplicarse. La relación de cooperación del EM hace que los otros microorganismos provean de ácidos orgánicos a las bacterias fototrópicas, razón por la cual, el EM también funciona en ausencia de luz.

Empleo de microorganismos eficientes en el tratamiento de residuales sólidos

Tratamiento de residuales domésticos (basura)

La tecnología de EM es muy útil para el manejo de los rellenos sanitarios o botaderos. Actualmente alrededor del 40-60 % de la basura son compuestos orgánicos y causan la generación de malos olores, moscas, lixiviados y gas metano, etc. Su uso en rellenos sanitarios y botaderos (6) permite:

- Reducir los malos olores y moscas.
- Acelerar la descomposición de materias orgáni-

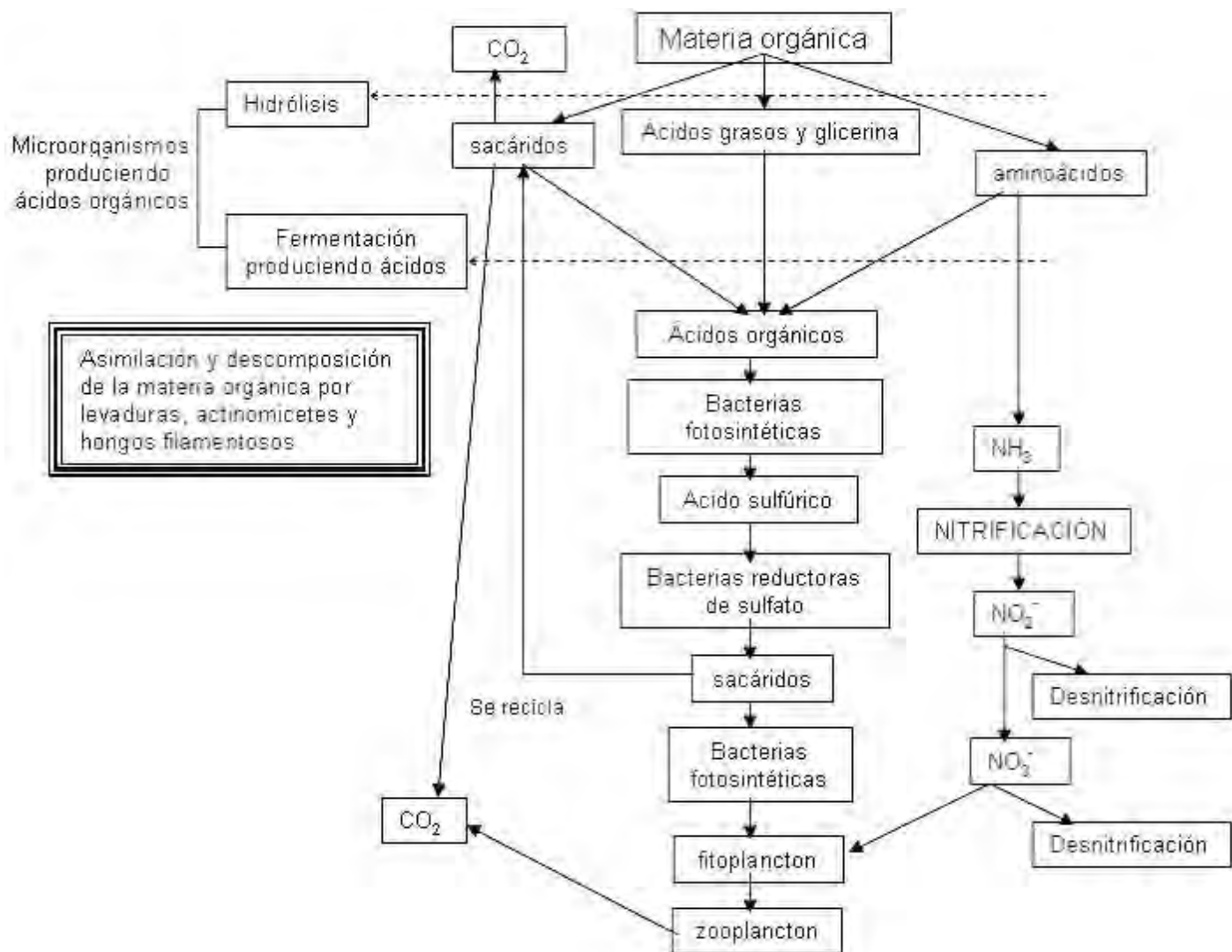


Figura 1. Proceso en el cual se fermenta la materia orgánica con el uso de EM.

cas y eso ayudará renovar la vida útil de relleno sanitario o botaderos.

- Mejorar la calidad de lixiviados.
- Reducción de gases ofensivos, como gas metano.

El producto es aplicado con aspersión a la basura en el momento de ser depositada y las bolsas plásticas deberán ser destruidas por un tractor, esto ayuda a que el EM alcance y contacte, en lo posible con materias orgánicas y luego se inicie la fermentación. También es empleado para lavar los camiones o recolectores de basuras para que no lleve malos olores.

Tratamiento de residuos lignocelulósicos

El procesamiento consolidado de biomasa celulósica junto a la utilización combinada de sustratos permite la obtención de un producto final con propiedades adecuadas y se convierte en una alternativa de aprovechamiento con alto potencial (16)

Existen numerosos estudios sobre la degrada-

ción de residuos vegetales mediante metodologías basadas en la aplicación de inóculos microbianos. La degradación de la celulosa puede ser llevada a cabo en sistemas de cultivos mixtos de bacterias celulolíticas, hongos productores de enzimas ligninolíticas e hidrolíticas y levaduras no celulolíticas (como los EM) en los cuales la *S. cerevisiae* utiliza azúcares reducidos derivados de la degradación de la celulosa y los convierte en etanol (17).

El uso de productos comerciales o inoculantes microbianos (EM) para acelerar el proceso de descomposición de residuos orgánicos es una estrategia actual y una de las mejores formas para generar subproductos de mejor calidad, sin embargo los resultados están en dependencia del tipo de residuo tratado (18–20). Los EM son formulaciones de microorganismos cuya ventaja radica en la posibilidad de hacer los procesos más rápidos, emplear poca energía no renovable y ser una metodología limpia o sea, no contamina el medio ambiente (21).

Tratamiento de aguas

Tratamiento de aguas y lodos residuales domésticos

El agua residual (AR), es aquella que ha sufrido una alteración en sus características físicas, químicas o biológicas por la introducción de contaminantes como residuos sólidos, biológicos, químicos, municipales, industriales, agrícolas etc., afectando así los ecosistemas acuáticos y su entorno.

La misma se divide en residuales de tipo ordinario y de tipo especial. Las de tipo ordinario son aquellas provenientes del uso doméstico (uso de inodoros, duchas, lavaderos, lavado de ropa, fregaderos) y contienen heces, orina, microorganismos y restos de productos de limpieza, mientras que las aguas de tipo especial son las que provienen de otros usos principalmente industriales (22).

La razón por la cual los EM han sido empleados para el tratamiento de aguas residuales es que los microorganismos que contiene secretan ácidos orgánicos, enzimas, antioxidantes y quelantes metálicos creando un ambiente antioxidante que ayuda al proceso de separación sólido/líquido, el cual es el fundamento de la limpieza del agua (6).

Los microorganismos del EM poseen varias características útiles en procesos de biorremediación, entre las cuales se encuentran la fermentación de la materia orgánica sin la liberación de malos olores y su capacidad de convertir los desechos tóxicos (H_2S) en sustancias no tóxicas (SO_4) (23).

La limpieza y depuración de las aguas residuales, implica operaciones unitarias como son la sedimentación y la filtración, pero los procesos biológicos y/o de lodos activados que se llevan a cabo en el proceso de tratamiento son los de mayor importancia ya que son los microorganismos los que realizan el proceso de depuración. Un aspecto significativo del proceso de tratamiento de aguas mediante lodos activados, es la formación de flóculos biológicos en los mismos, los cuales contienen partículas orgánicas, inorgánicas y bacterias. El tamaño de las partículas varía entre 1 μm y 100 μm y las células vivas del flóculo representan entre el 5 y el 20 % del total de bacterias (24).

Fioravanti, *et al.* (25) realizaron estudios empleando EM para el tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando un sistema de lodos activados. Los resultados mostraron que el consumo de oxígeno en el sistema de tratamiento y en la estabilización de lodos sépticos disminuyó, al igual que la producción de lodos, la DQO, los malos olores, el pH y los coliformes. De igual forma, evaluaron la efectividad del uso de EM, para reducir olores y disminuir la cantidad de lodos generados en los tratamientos de AR, presentando mejoras significativas en los parámetros: pH, conductividad, sólidos totales (ST), sólidos solubles (SS) y SD, en los mismos.

Crites y Tchobanoglous (26) aplicaron los mi-

croorganismos eficientes (EM) en las aguas residuales de la granja porcina de Zamorano en Honduras y se obtuvo que la adición de los mismos redujo la cantidad de DBO, DQO y sólidos totales (ST) a los 60 días después de su aplicación. En su estudio sugieren evaluar una dosis más alta de EM y adicionarlos a 113 L de aguas residuales de la granja porcina, esperando únicamente un mes de acción de los EM para observar si existe mayor efecto en la reducción de estos parámetros así como, hacer un ensayo en la laguna de oxidación probando los EM, para validar su efecto en la descomposición de la materia orgánica, colocando aireadores en los contenedores para facilitar la producción de oxígeno.

En Costa Rica, Reyes (27) estudió la estabilización de los lodos sépticos que provienen de una comunidad pequeña con EM y los resultados fueron positivos en su uso como estabilizador de biosólidos crudos. Después de 9 días los coliformes totales y fecales habían sido eliminados y hubo una reducción en la turbidez, sólidos totales, DBO, DQO, y en la materia orgánica en los lodos sépticos. No obstante aunque la reducción de sólidos totales y DQO en los tratamientos con EM fue significativa, este descenso no llegó a los límites permisibles de estos parámetros (<1000 mg/L y <2000 mg/L, respectivamente). En base a los resultados, la concentración más baja de EM y el tiempo menor para que ocurra una estabilización efectiva de los lodos sépticos, fueron el tratamiento con 2.5 % de EM activado y un tiempo no mayor que 5 días.

Las aguas procedentes de una vivienda o ciudades y de fábricas de alimentos industriales pueden ser tratadas utilizando EM de una manera que asegure que su retorno al medio ambiente sea seguro y además pueda restaurar el balance ecológico del área. Algunas aguas contienen materiales orgánicos que cuando son utilizadas por microorganismos putrefactivos son contaminantes del medio ambiente con compuestos tóxicos.

Los efectos de la aplicación del EM en el tratamiento de aguas contaminadas en lugares cerrados (lago, laguna, tanques sépticos, etc.) son:

1. Reducir los malos olores como el amoníaco, el sulfuro y el metilmercaptano, entre otros.
2. Reducción de lodos (sedimentos) y microorganismos patógenos como coliformes y bacterias sulfitorreductoras.
3. Mejoramientos de la calidad del agua desde el punto de vista químico, físico y microbiológico, disminuyendo parámetros como DBO, DQO, turbidez, sólidos suspendidos, pH y oxígeno disuelto.
4. Reutilización de agua como riego y sólido como abono con alta calidad.

Estudios realizados por Cardona *et al.* (28), evaluaron el efecto de los EM sobre la calidad de un agua residual doméstica en Bogotá, Colombia y observaron que no hay diferencias significativas en las

concentraciones de ningún parámetro con respecto a los tiempos, entre el control y los tratamientos. Por lo cual se concluyó que no existió un efecto de la profundidad de la aplicación de EM, bajo las condiciones del estudio.

Tratamiento de aguas residuales industriales

La utilización de los EM puede revertir situaciones donde los efluentes tengan una alta concentración de materia orgánica y coliformes. Los EM mediante un proceso de fermentación aceleran la descomposición natural de los compuestos orgánicos, eliminando los microorganismos patógenos que promueven la putrefacción y la producción de gases nocivos que contaminan el agua y producen malos olores.

Dentro de los efectos de la aplicación de microorganismos eficientes para el tratamiento de aguas residuales están, la reducción de olores ofensivos, el mejoramiento de la capacidad de digestión biológica de los lodos, mejora de la calidad del agua, la reutilización de lodos, entre otros (29).

La aplicación de los microorganismos eficaces, depende de factores ambientales (temperatura, precipitación, humedad relativa y radiación solar) y de la composición de las aguas residuales crudas o afluentes (DBO, DQO, pH). (6). Es por esto que antes de la aplicación de EM-1® en lagunas de oxidación se necesitan los siguientes datos que son requisitos para calcular la dosis (30):

- Volumen de agua usado por día o volumen de caudal de la laguna.
- Demanda biológica y química de oxígeno (DBO y DQO) del caudal inicial y la salida final.
- Capacidad total de la laguna.

En la tabla 1 se muestran las formas de aplicación del producto EM-1® para el tratamiento de aguas industriales.

El cambio de la calidad de agua, aparecerá por lo menos un mes después de la primera aplicación de EM-1®, es decir que hay que dar el tiempo para que se establezcan los microorganismos benéficos en la laguna porque a partir de ese momento comienza la purificación del efluente.

Teóricamente 1 L de EM-1® reduce 1.5 mg/día de DBO lo quiere decir que 1000 L de la aplicación de EM-1®, puede reducir 1.5 g/día de materia orgánica. Sin embargo, a mayores volúmenes de uso de EM, más rápido será la aparición de resultados (según

condición de agua residuales y el sistema de laguna).

La empresa AMBIEM.Ltda de Brasil emplea diferentes dosis y tiempos de aplicación dependiendo del uso de los EM. Por ejemplo para la recuperación de lagos y reservorios de agua emplean 1 L EM-1®/1000 L de agua tratada y luego esperan un mes para ver si se obtuvieron resultados. Posteriormente realizan aplicaciones de mantenimiento una vez al mes con dosis de 1 L EM-1®/ 10 000 L agua.

Para el caso del tratamiento de efluentes y aguas negras, la dosis depende del DBO del mismo. Para valores de 1000 a 2000 mg/l se emplean dosis de 1 L EM-1®/ 500 L del volumen total de las lagunas o tanques de tratamiento y por debajo de 1000 mg/l se usan 1 L EM-1®/ 1000 L del volumen total. Estas aplicaciones se realizan tres veces a la semana durante el primer mes y si no hay cambios significativos se repite el procedimiento 1 mes más (31).

El uso de esta tecnología para el manejo del sistema de tratamiento de las aguas residuales de Belize Suga Industry (32) fue un mecanismo de ahorro efectivo para el ingenio azucarero, cuando después de 4.5 a 6 meses se obtuvieron ahorros del 37 a 50 %. Con la DQO también obtuvieron resultados alentadores con una reducción desde 13.57 g/l a 2.04 g/l durante el mismo período. En el estudio realizado se apreció que en solo 6 meses el sistema de manejo con EM fue más eficiente en su habilidad de disminuir la DQO (83 % de purificación) en comparación con el 75 % obtenido con el sistema de inyección de oxígeno instalado en la planta. Adicionalmente refieren que el olor fue completamente controlado, se redujo significativamente la población de moscas y hubo un aumento visible de aves en la zona.

Tratamiento de desechos para la producción de biogás

En la actualidad los sistemas de producción, específicamente los sistemas agropecuarios, están diseñados de tal forma que no encajan con el ritmo y características del medio ambiente en el cual se encuentran establecidos. Por ejemplo, en los monocultivos intensivos y la ganadería extensiva se desaprovecha el potencial natural del medio, puesto que en lugar de interactuar con él y beneficiarse de su sostenibilidad natural, se basan en productos químicos e insumos ajenos al sistema biológico, volviéndose un círculo vicioso en el cual cada vez son necesarios más insumos externos para mantener la

Tabla 1. Aplicación de M-1® en aguas industriales

Tratamiento	Dosis	Frecuencia	Lugar de aplicación
De choque	1 L EM-1®/ 1000 L agua de laguna	Trimestral	Primera laguna o todas las lagunas
De mantenimiento	1 L EM-1®/ 1000 L caudal de agua	Diaria	Entrada de agua al sistema

producción o el rendimiento del sistema. Lo anterior se debe al poco interés en los sistemas de producción orgánica y la ignorancia de la existencia y la forma de uso de productos alternativos amigables con el ambiente (8).

Como resultado del desequilibrio que provocan los sistemas de producción humanos obtenemos métodos o sistemas de producción agropecuarios subdesarrollados y altamente contaminantes que liberan al ambiente materiales que no son contaminantes en forma directa, pero en altas cantidades producen desequilibrios traducidos a problemas medio ambientales de gran envergadura. Claro ejemplo es el caso de los gases CO_2 y CH_4 , principales responsables del aumento en el efecto invernadero y por ende del calentamiento global, que tanto preocupa actualmente a las naciones del mundo.

El uso de tecnologías alternativas y amigables con el medioambiente, como los EM pueden ayudar a reducir el problema de las emisiones de estos gases. Según los resultados del Dr. Higa, el uso de EM puede o efectivamente reduce las emisiones de CH_4 (7). Pero, existe el problema de que no se conoce específicamente el efecto sobre estos sistemas biológicos desde el punto de vista de la magnitud de la reducción de dichos gases.

El biogás es un compuesto de gases que principalmente se compone de CH_4 y CO_2 que se produce de la descomposición anaeróbica de materia orgánica realizado por microorganismos, los cuales pueden ser desechos animales, desechos vegetales, desechos de procesos industriales, entre otros (33). Este proceso engloba una serie de reacciones bioquímicas donde se pueden identificar dos fases

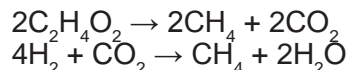
principales (figura 2):

1. Fase acidogénica donde la materia orgánica se convierte en su mayoría en acetatos.
2. Fase metanogénica donde se produce CH_4 y CO_2 .

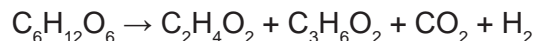
La fase acidogénica es el punto clave de la producción de biogás, ya que el acetato que es producido en esta fase es el sustrato principal para la producción de CH_4 . Los productos finales de la fase ácida son acetatos, ácidos grasos superiores, CO_2 y H_2 . La formación de estos productos se realiza por una cadena complicada de reacciones enzimáticas.

En la fase metanogénica, los productos intermedios de la fase ácida se convierten en CH_4 . Los principales sustratos para la metanogénesis son el ácido acético y $\text{H}_2 + \text{CO}_2$, siendo el primero el más importante.

El proceso por el cual se produce CH_4 es el siguiente:



Si las bacterias metanogénicas crecen junto a las bacterias fermentadoras de azúcares, entonces se induce a formar más de este compuesto en vez de una mezcla de ácido acético y ácido propiónico:



Lo que se produce sería ácido acético:

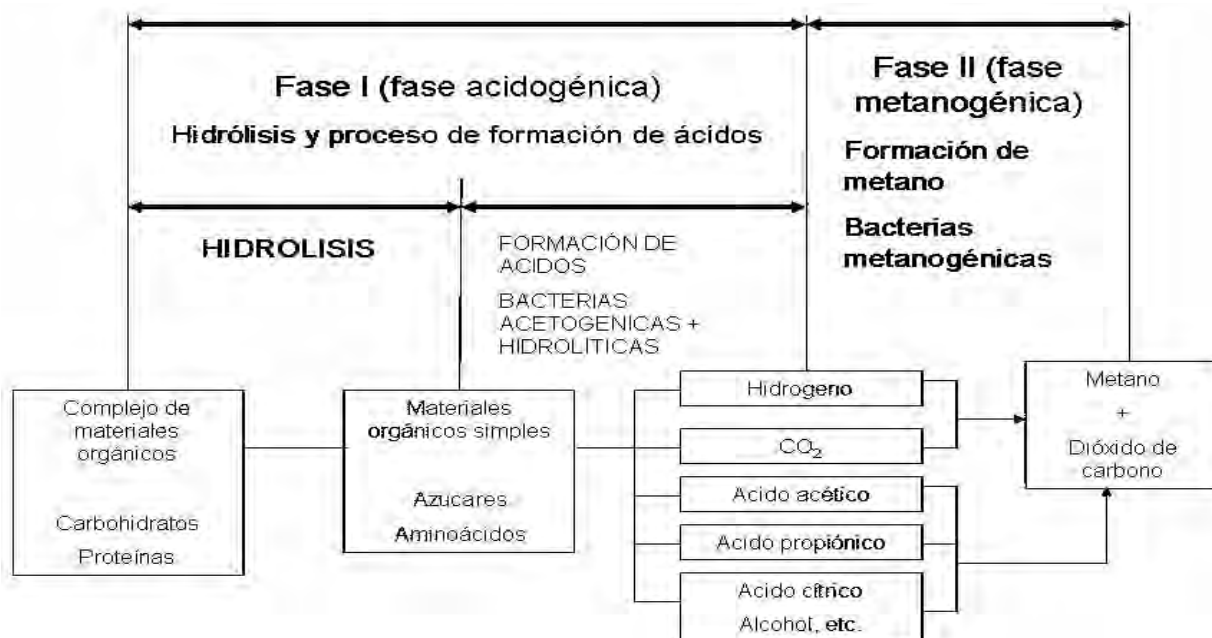


Figura 2. Proceso de la digestión difásica en la producción de metano (CH_4).

El hidrógeno formado en la etapa inicial del rompimiento de la glucosa a ácido pirúvico libera H_2 y más de este compuesto sería liberado en el proceso de ácido acético. El $4H_2$ se combinaría luego con CO_2 para formar CH_4 . En un modo similar, la producción de etanol, ácido láctico y otras reacciones que se mostraron anteriormente, serían convertidos a favor del ácido acético y producción de H_2 .

Microorganismos que intervienen en el proceso de producción de biogás

Para la producción de biogás se requiere de la simbiosis de varias bacterias anaeróbicas. Al menos cuatro diferentes tipos de bacterias han sido reconocidos para la fermentación de la materia orgánica y su metabolismo genera biogás como producto final:

1. Bacterias hidrolíticas: fermentan moléculas orgánicas complejas como polisacáridos, lípidos y proteínas en varios compuestos más simples (ácido acético, H_2 , CO_2 , compuestos de un solo carbono, ácidos orgánicos más grandes que el ácido acético y compuestos neutrales más grandes que el metanol).
2. Bacterias acetogénicas: convierten ácidos orgánicos como los butiratos y propionatos, y compuestos neutrales como el etanol y propanol a H_2 y acetatos.
3. Bacterias homoacetogénicas: pueden fermentar un alto espectro de compuestos de uno solo o varios carbonos ácidos acéticos.
4. Bacterias metanogénicas: son las que fermentan el H_2 , CO_2 , compuestos de un solo carbono y acetatos a CH_4 . Las bacterias metanogénicas identificadas son: *Methanococcus*, *Metanobacterium*, *Methanosarcina*, *Methanospirillum* y *Methanobacillus*.

Según estudios realizados, la aplicación de EM en biodigestores demostró tener una tendencia a la disminución en la cantidad de sólidos totales remanentes en el sistema, aumentó la cantidad de CH_4 generado, al igual que aumentó la emisión de CO_2 y produjo valores de pH mayores a mayor dosis de los EM aplicados. Todos estos factores contribuyeron al aumento de la producción de biogás (CH_4 y CO_2).

Estos investigadores sugieren comparar el efecto de los EM, aplicándolo en el material orgánico previo a ser introducido al biodigestor como un pre-tratamiento contra la aplicación directa de los mismos en el biodigestor.

Uso de EM en el control de los gases de efecto invernadero

Según Higa, con la tecnología EM se pueden controlar los gases de efecto invernadero (GEI) porque los hidrocarburos, sulfuros y óxidos son tratados por estos microorganismos, convirtiendo estas sus-

tancias en aminoácidos, oxígeno orgánico y azúcares que fertilizan el suelo, proveen nutrientes a las plantas y plancton para animales acuáticos pero los EM no son capaces de convertirlos en ningún tipo de gas. En un reciente estudio, Higa determinó que la tecnología EM mostró tener un efecto de supresión en la generación de CH_4 en campos de arroz inundado de hasta un 59 % (7).

Mejoramiento de suelos

Se han obtenido resultados satisfactorios en la aplicación de EM para eliminar las dificultades para ejecutar limpiezas manuales y fertilizaciones, provocadas por los residuos generados durante la cosecha mecanizada de caña de azúcar y su permanencia en el campo por largo tiempo. Estos desechos también son causantes de enfermedades fúngicas, ayuda a la proliferación de plagas y reduce el rendimiento de la mano de obra para otras labores de cultivo, aumenta la posibilidad de que los trabajadores sean atacados por insectos y serpientes. Además aumentan la probabilidad de quemas accidentales en los rebrotes de la caña. Las aplicaciones de los EM al suelo pueden ayudar a definir la estructura y el establecimiento de ecosistemas naturales (12).

CONCLUSIONES

- Los microorganismos eficientes, al ser un producto orgánico sin manipulación genética son bien aceptados en toda clase de unidades productivas, ya sean agrícolas, pecuarias o medioambientales.
- Con la aplicación de la tecnología EM se hace posible la transformación de los residuos orgánicos en abonos de excelente calidad utilizados en programas de producción limpia.
- El empleo de microorganismos eficientes en las instalaciones reduce drásticamente los gases emitidos producto de los malos olores y la presencia de vectores.
- La tecnología EM aplicada en el tratamiento de aguas residuales permite recuperar este tipo de aguas disminuyendo la producción de lodos, mejorando la calidad física, química y microbiológica del efluente, lo cual minimiza diferentes impactos generados al medio ambiente e incluso permite darle un nuevo uso.
- El EM mejora la biota del suelo y las propiedades físicas del mismo, disminuyendo los costos de la producción, aumentando la cantidad de cosechas y por lo tanto aumentando los ingresos del agricultor.
- El empleo directo de EM en los biodigestores o en una etapa previa de pretratamiento a la materia orgánica empleada, incrementa los niveles de producción de biogás.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Cruz, N. Aprovechamiento y manejo de desechos orgánicos de cocina utilizando microorganismos eficientes de montaña (mem) aislados de dos bosques secundarios de Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Biología. Cartago. p.11. enero 2010.
2. Rodie, B. E. y Hardenb, E.R.G. Ingeniería Sanitaria. Ed. Continental S.A. de C.V. México D.F. 1987.
3. Romero, L. ; Vargas, T.J; Dabiel, M. Uso de microorganismos eficientes para tratar aguas contaminadas. Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH), Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (Cujae). Habana. Septiembre – diciembre. 2017, p. 89.
4. Bejarano, E.; Escobar, M. Eficiencia del uso de microorganismos para el tratamiento de aguas residuales domésticas en una planta de tratamiento de agua residual. Programa de ingeniería ambiental y sanitaria. Bogotá D.C. 2015.
5. López, M.V. Tratamiento biológico de aguas residuales en perspectiva de la biotecnología en México. Editorial CONACYT, México. pp. 259-284. 1981.
6. EM Research Organization – EMRO. EM-Agua Manual de usos de microorganismos eficaces para agua residual. Bogotá, Colombia. 2014.
7. Higa, T. A preliminary study of the suppressing effect of EM on methane emissions in paddy fields. An earth saving revolution II. Sunmark Publishing 1998. 364 p. ISBN 4-7631-9214-0. Okinawa (JP).
8. Miyashiro, G. y Meggs, J.C. Proyecto de grado: Medición del efecto de la aplicación de microorganismos eficaces (ME) en la generación del gas metano (CH_4) en los sistemas de biodigestores a escala. Universidad EARTH, Costa Rica. 2007.
9. Ibáñez, J.J. Microorganismos eficientes o efectivos (EM) y rehabilitación de suelos. En: MIOD, Un lugar para la ciencia y la tecnología. Marzo 2 de 2011. [on line] <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2011/03/02/137556>
10. Arias, A. Microorganismos eficientes y su beneficio para la agricultura y el medio ambiente. Journal de Ciencia e Ingeniería. Vol. 2, No. 2, agosto, 2010. p 42–45.
11. Fujisawa, A.; et al. Kyusei nature farming and the technology of effective microorganisms: guidelines for practical use.
12. Higa, T. y Parr, J.F. Microorganismos en los suelos. Departamento de agricultura de EE.UU. Beltsville. Maryland, EE.UU. 2014. <http://www.iespana.es/em/Manuales/manuales.html>.
13. Higa, T. Effective microorganisms and their role in kyusei nature farming and sustainable agriculture. An earth saving revolution II. Sunmark Publishing 1998. 364 p. ISBN 4-7631-9214-0. Japón.
14. Rosales, L. (2009). Evaluación de microorganismos eficientes para la biodegradación de mieles de beneficiado húmedo de café (*Coffea arabica* L.) en Cobán, Alata Verapaz. Trabajo de graduación, Univ., de San Carlos de Guatemala, pp.12-15.
15. Mau, F. EM microorganismos efectivos. 1ª ed. München (DE): Goldman / Arkanna Verlag, 2002. 237 p. ISBN 84-7871-741-2.
16. Lynd, L.R.; van Zyl, W.H.; McBride, J.E.; Laser, M. Consolidated bioprocessing of cellulosic biomass: an update. Curr Opin Biotechnol. 2005;16(5):577–583. doi: 10.1016/j.copbio.2005.08.009. [PubMed] [Cross-Ref] [Google Scholar].
17. Pratima, G.; Kalpana, S. and Sahu, A. Isolation of Cellulose-Degrading Bacteria and Determination of Their Cellulolytic Potential. International Journal of Microbiology Volume 2012, Article ID 578925, 5 pages. <http://dx.doi.org/10.1155/2012/578925>
18. Recalde, C.G.; et al. Descomposición de Materia Orgánica con Microorganismos Benéficos Magnetizados Información Tecnológica Vol. 24(6), 9-16(2013)doi: 10.4067/S0718-07642013000600003.
19. Medina, M.S.; et al. Generación de un inoculante acelerador del compostaje. Revista Argentina de Microbiología. Volumen 50, No. 2, abril-junio 2018, pp. 206-210.
20. Gaitan, D. y Perez, L. (2007). Aislamiento y evaluación de microorganismos celulolíticos a partir de residuos vegetales frescos y en compost generados en un cultivo de crisantemo (*Dendranthema grandiflora*). Pontificia Universidad Javeriana. Colombia.
21. Peng, L.; et al. (2010). Intracellular ethanol accumulation in yeast cells during aerobic fermentation: a Raman spectroscopic exploration. Lett Appl Microbiol 51(6):632-8.

22. Valdez, A. Grado aplicación de microorganismos eficaces (EM) para el tratamiento de las aguas residuales domésticas en la localidad de Chucuito. Tesis de diploma. Puno, Perú. p. 25-26. 2016.
 23. Vargas, P. Efecto de los microorganismos N eficaces (EM) en el tratamiento de aguas servidas del C.P Huaripampa Olleros. Tesis de maestría. Huaraz, Perú-PE. 2006.
 24. Gemic. Tratamiento de aguas residuales. Abril. 2008. [http://www.unavarra.es/genmic/curso%20microbiologia%20general/40 tratamiento%20aguas%20residuales.htm](http://www.unavarra.es/genmic/curso%20microbiologia%20general/40%20tratamiento%20aguas%20residuales.htm).
 25. Fioravanti, V.; Hernández, C.; Okunoto, S.; Yeomans, N. Eficiencia de los microorganismos eficaces (EM) en la estabilización de lodos sépticos para uso agrícola. *Tierra tropical*. 1 (1): 69 -76. 2005.
 26. Crites, R.; Tchobanoglous, G. Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Bogotá, Colombia: McGraw-Hill Interamericana S.A. 2000. 776 p.
 27. Reyes, B. Estabilización de los lodos sépticos que provienen de una comunidad pequeña con microorganismos eficaces (EM). Costa Rica-CR. 2004.
 28. Cardona, G. J. y García G. L. A. (2008). Evaluación del efecto de los microorganismos eficaces (ME) sobre la calidad de un agua residual doméstica. Tesis en opción a la carrera de Microbiología Industrial. Facultad de Ciencias. Bogotá, D. C. 159 pp. <http://javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis204.pdf> en agosto de 2017.
 29. Quiroga, L. Tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados a escala laboratorio. *Journal of Technology*. 2008. pp. 21 – 28.
 30. Guía de la tecnología de EM. EM producción y tecnología S.A (EMPROTEC). Mayo, 2013.
 31. AMBIEM. Ltda. Brasil. Portal oficial de la tecnología EMTM en América Latina. 2018. <https://www.em-la.com>.
 32. Usher, W.; Santiago, J. El uso de la tecnología microorganismos eficaces™ (EM) en el tratamiento de aguas residuales del ingenio azucarero Belize Sugar Industries Ltda. Belize Agro-enterprise Ltd (BAEL).
 33. TATA ENERGY RESEARCH INSTITUTE. Biogas technology: an information package.
-

Evaluación de la concentración y desalinización como tratamiento a la vinaza producida en una destilería cubana

Claudia López-Pérez^{1*}, Lourdes Zumalacárregui-de Cárdenas², Osney Pérez-Ones², José Luis Pérez-de los Ríos²

1. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (Icidca).

Via Banca 804 y Carretera Central. San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba.

* claudia.lopez@icidca.azcuba.cu

2. Grupo de Análisis de Procesos, Facultad de Ingeniería Química, Universidad Tecnológica de La Habana

"José Antonio Echeverría" (Cujae).

Calle 114 No. 11901 e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba

RESUMEN

En este trabajo se presenta una alternativa para el tratamiento a la vinaza producida en el área de destilación de una destilería cubana, ya que debido a algunas de sus características como pH bajo, sólidos suspendidos totales y elevada demanda química de oxígeno (DQO), se considera un residuo líquido muy agresivo que provoca serios problemas ambientales en los recursos hídricos donde se descarga. La frecuente acumulación actual de vinazas en la ronera provoca la interrupción del proceso de producción de etanol. Para evitar esta acumulación, se evaluó la alternativa de concentrar y desalinizar la vinaza en la planta con el objetivo de utilizarla como alimento animal, ya que ella no presenta patógenos, ni metales pesados, ni componentes tóxicos. Se realizó la evaluación económica del sistema propuesto a partir del método de Peters resultando un costo de inversión de 6 633 232 CUC. Se calcularon además otros indicadores como el valor actual neto que resultó positivo, el plazo de recuperación del capital de 1.4 años, un plazo de recuperación del capital al descontado de 2.15 años, una tasa interna de rendimiento de 37 % y un retorno sobre la inversión de 71.5 %.

Palabras clave: destilación, desalinización, vinazas.

ABSTRACT

This work presents an alternative for the treatment of vinasses produced in the distillation area of a Cuban distillery, since due to some of its characteristics, such as low pH, total suspended solids, high chemical oxygen demand (COD) is considered a very aggressive liquid waste that causes serious environmental problems in the water resources where it is discharged. The existing accumulation of vinasses interrupts the ethanol's production. To avoid this accumulation, the alternative of desalinizing the vinasses in the plant was evaluated with the objective of being used as animal feeding since it does not content pathogens, heavy metals or toxic components. The economic evaluation of the proposed system was carried out using the Peters method, resulting in an investment cost of 6 633 232 CUC. Other indicators were calculated, such as a net present value, the recovery period of the capital resulting 1.4 years, the recovery discounted period of the capital resulting 2.15 years, the internal rate of return resulting from 37 % and a return on the investment of 71.5 %.

Key words: distillation, desalination, vinasses.

INTRODUCCIÓN

Toda actividad productiva genera residuos (sólidos, líquidos, gaseosos o una combinación de estos) que se deben tratar y disponer de manera que su impacto negativo a la salud humana y al medio ambiente sea el menor posible. Si estos desechos

reciben determinados tratamientos, se podrían aprovechar, por lo cual, dejarían de ser contaminantes, y, por otro lado, los convertirían en una fuente adicional de recursos (1).

El proceso de producción de alcohol a partir de caña se caracteriza por la conversión de la melaza y/o jugo de caña en etanol liberando además dos

subproductos en el proceso: la vinaza y el dióxido de carbono (2).

La vinaza debido a algunas de sus características como pH bajo, sólidos suspendidos totales y elevada demanda química de oxígeno (DQO), se considera un residual líquido muy agresivo que provoca serios problemas ambientales en los recursos hídricos donde se descarga (3). Para su tratamiento se han ensayado métodos físico-químicos, químicos y biológicos siendo estos últimos los más apropiados por la gran cantidad de compuestos orgánicos biodegradables que presentan en su composición.

Debido a la naturaleza de la elevada carga orgánica que posee la vinaza, se ha facilitado su manejo y aprovechamiento. Además, todos los componentes de la misma provienen de la materia prima y pueden servir de abono o alimento animal. Las principales limitantes a su uso, tanto como abono como para alimento animal, son su alto contenido de potasio, del orden del 6 % de sus sólidos totales, así como el alto contenido de sulfuros (4).

La vinaza se puede utilizar en la fertilización, sustrato para compost, producción de biogás y biosólidos, medio de cultivo, como suplemento alimenticio, incineración, como agente plastificante de concretos reforzados, en la fabricación de ladrillos, entre otros (5).

Sin algún previo tratamiento el vertimiento de este desecho líquido constituye un serio problema de contaminación, al presentar una alta carga orgánica que se consume por las plantas y bacterias de los ríos (6). Esta sobrealimentación de nutrientes orgánicos genera un aumento en la población de estas especies y por lo tanto una alta demanda de oxígeno, consumiendo prácticamente todo el oxígeno disponible y por ende impidiendo la supervivencia de otras especies. Debido a lo antes planteado se restringe su vertimiento al medio ambiente sin un previo tratamiento. El problema principal radica en que, por cada litro de etanol producido a partir de miel final, se obtienen entre 10 y 15 litros de vinazas como residuales con un pH alrededor de cuatro. Esta problemática afecta gravemente en la producción de aguardiente, pues la vinaza producida se acumula en los tanques sin tener una solución viable para tratarla y se detiene la producción del mismo en la fábrica.

La destilería, desde enero de 2015 hasta enero de 2018, ha dejado de producir 5 608 m³ de aguardiente debido a la acumulación de vinaza, representando una pérdida económica de 3 363 150 CUC.

MATERIALES y MÉTODOS

Descripción del proceso tecnológico para las etapas de concentración y desalinización

En este proceso se concentran y desalan las

vinazas mediante tratamiento químico para que el producto final esté libre de sales, principalmente de potasio. Posteriormente, mediante la centrifugación, se obtienen dos fases: una sólida, que contiene sales ricas en potasio y sodio que se pueden emplear en la formulación de abonos como fertilizantes, y una líquida, que se utiliza como sustituto de la miel para la alimentación animal o para la producción de levadura forrajera (7).

Las vinazas, cuando salen del fondo de la columna destiladora, se almacenan en un tanque. Antes de iniciar el proceso se calientan en un intercambiador de tubos y coraza desde 70 °C hasta 110 °C para lograr un ahorro en el consumo de vapor en el evaporador. El vapor empleado en este proceso proviene de una extracción en el primer efecto del múltiple (8). Luego pasa al sistema de evaporadores a múltiple efecto. El primer efecto se alimenta con vapor de la caldera y los otros, en condiciones de vacío creciente, se alimentan con los vapores del efecto precedente. Comúnmente se usan sistemas de 4 a 6 efectos. La unidad se debe sobredimensionar en un 15 a 20 % para permitir las operaciones de limpieza (9).

El concentrado de vinazas producido tiene un contenido de sustancia seca del orden del 60 %. La circulación se efectúa con bombas centrífugas normalmente a temperaturas superiores a 40 °C. El condensado de proceso de la última etapa se emplea como agua de dilución de la melaza y la parte que queda se descarga sin ulteriores tratamientos. Si se requiere, se puede purificar posteriormente con tratamiento biológico.

Para que el concentrado de vinaza resulte apto para la producción de alimentos para animales, debe estar libre de sales, ya que el potasio en particular, es poco tolerado a causa de su efecto laxante. El concentrado se bombea al tanque agitado, donde se le adiciona ácido sulfúrico y según el destino del producto final, carbonato de calcio o amoníaco para mejorar la precipitación.

Posteriormente pasa a la centrífuga sedimentadora donde se separa el claro de las sales ricas en potasio que se pueden emplear como fertilizantes. El claro se destina a la fermentación para la producción de levadura torula o se envía directamente a alimento animal como sustituto de la miel (10).

Simulación del proceso

Para la simulación del proceso de concentración y desalinización a partir de la vinaza producida en la etapa de destilación se empleó el programa Aspen Plus, el cual está formado por un conjunto compacto de diferentes herramientas de simulación que usan la misma interfaz y sólo difieren en los modelos matemáticos o módulos de los equipos que caracterizan a cada rama industrial (11).

Como una de las cualidades de este simulador se puede mencionar, de forma general, que se puede usar tanto en procesos continuos como en procesos discontinuos, así como una mezcla de ambos; es versátil especialmente para las industrias de la biotecnología, de los productos farmacéuticos, de la producción de alimentos, el tratamiento de residuales, el control del medio ambiente, la purificación de agua y otras.

Selección de módulos y componentes de la simulación. Características

El esquema del proceso tecnológico se conforma seleccionando los módulos que representen las operaciones demandadas por la tecnología a simular. Para la selección de los módulos se va a la barra que se encuentra en la parte inferior del programa, y se escoge el módulo adecuado en dependencia de la operación. De esta forma el módulo se añade a la hoja de trabajo.

Los módulos utilizados en la simulación se muestran en la tabla 1.

Una vez seleccionados los módulos, se escogen los componentes a partir del banco de datos que ofrece el simulador. En caso de no aparecer, existe la opción de crear el componente o la mezcla como un compuesto hipotético, a partir de algunas de sus propiedades. Como la vinaza no aparece en la base de datos del programa, se creó el compuesto hipotético vinaza con la composición que se presenta en la tabla 2 que se tomó de la herramienta de simulación de procesos en destilerías (SIDEL), elaborado por el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA) (12).

Simulación de la concentración de vinazas

El simulador Aspen Plus no dispone de módulos de evaporadores, por lo que, para simular este proceso fue necesario centrarse en las operaciones unitarias que se llevan a cabo en el proceso y adaptarlas al ambiente de simulación del programa.

Los tres vasos evaporadores se simularon utilizando la combinación de los módulos Heater y Flash2. Con el primero se simuló la calandria del

Tabla 1. Módulos utilizados en la simulación

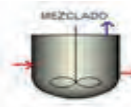


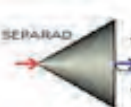
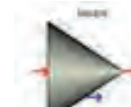

Operaciones	Módulos	Equipos
Transferencia de masa		Tanque de mezclado
Separaciones mecánicas		Centrífuga
Transferencia de masa		Separador
Transferencia de masa		Divisor de componentes
Transferencia de masa		Mezclador de componentes
Transferencia de calor		Intercambiador de calor

Tabla 2. Composición de la vinaza para la simulación

Componentes	Nombre en el simulador	Fracción másica
Agua	WATER	0.930000
Sacarosa	SUCROSE	0.008273
Ácido glutámico	GLUTAMIC	0.007636
Glicerol	GLYCEROL	0.014636
Ácido fumárico	FUMARIC	0.012727
Ácido láctico	LACTIC	0.012090
P ₂ O ₅	P2O5	2.2 E-05
K ₂ O	K2O	0.003332
CaO	CAO	0.000490
MgO	MGO	0.000529
Na ₂ SO ₄	NA2SO4	0.001131
Etanol	ETHANOL	0.009134

Tabla 4. Datos introducidos a los módulos en el proceso de concentración de vinaza

Separadores (FLASH2)	Temperatura (°C)
SEP1	100.6
SEP2	73.70
SEP3	42.24

Tabla 5. Datos introducidos al simulador

Corriente	Temperatura (°C)	Flujo (kg/h)
Vinaza concentrada	42	43590
Sulfato amonio	29	128
Ácido sulfúrico	29	156

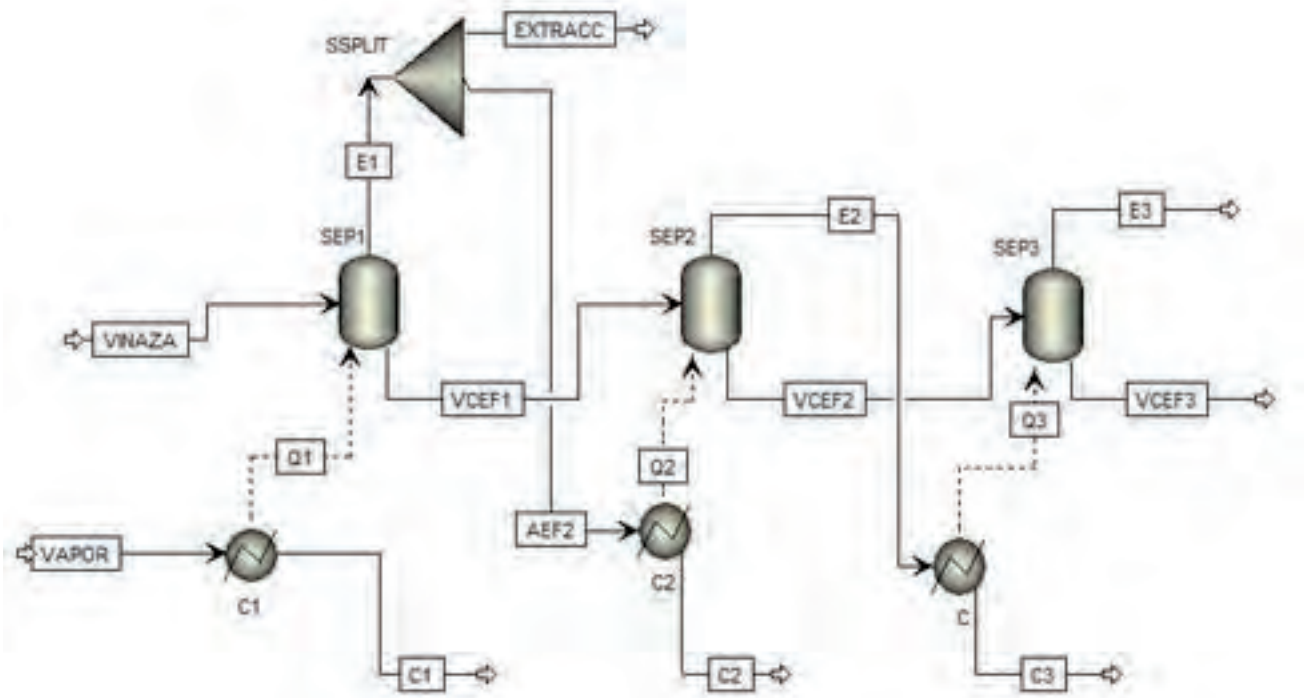


Figura 1. Esquema del proceso de concentración para la simulación.

Tabla 3. Datos introducidos a las corrientes en el proceso de concentración de vinaza

Corriente	Temperatura (°C)	Flujo (kg/h)
Vinaza entrada	110	43590
Vapor	123.58	11000
Extracción	-	1413

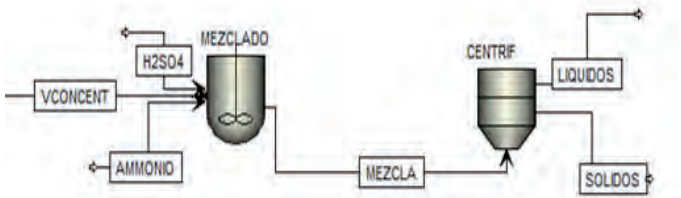


Figura 2. Esquema del proceso de desalinización para la simulación

equipo donde se cede calor y condensa el vapor y con el segundo se simuló el cuerpo del equipo donde ocurre la separación de la evaporación y del fluido concentrado. Ambos módulos se conectaron mediante una corriente de calor (HEAT STREAM) que aporta el calor cedido por el vapor al condensar en el Heater, al módulo separador Flash2. El módulo FSplit (SSplit) permitió simular la extracción de vapor del primer efecto. En la figura 1 se presenta el esquema del proceso de concentración obtenido del Aspen.

En las tablas 3 y 4 se muestran los datos introducidos en el simulador para inicializar las corrientes y los módulos para el proceso de concentración de vinaza, utilizando los datos del cálculo presentado en SIDEL.

A todos los módulos HEATER, utilizados como intercambiadores de calor que simulan la calandria de cada evaporador, (IC1, IC2, IC3) se les introdujo como dato la fracción de vapor igual a cero, correspondiente a la salida de un líquido saturado; además se suministró también la caída de presión igual a cero en el equipo.

Simulación de la desalinización de vinazas

La simulación se realizó a partir de obtener una concentración de la vinaza a 60 °Brix. Se partió de un esquema de flujo tecnológico donde el flujo a procesar de vinaza concentrada es 43 590 kg/h. Esta vinaza concentrada pasa a un tanque con agitación (MEZCLADO) donde se le añade ácido sulfúrico para mantener el pH y sulfato de amonio para propiciar la precipitación. Posteriormente pasa a la centrífuga (CENTRIF) donde ocurre la separación de las sales y el líquido. En la figura 2 se presenta el esquema del proceso de desalinización.

Otros de los datos introducidos en el simulador se muestran en la tabla 5.

Análisis económico

Para que una planta de procesos pueda modificarse o construirse y comenzar a operar normalmente, se requiere disponer de una suma de dinero para garantizar la compra del equipamiento requerido, su instalación, la adquisición del terreno donde se construirá la planta, así como las tuberías de proceso, servicios, edificaciones, entre otras. Pero para ello, los ingenieros deberán estar seguros de que la propuesta que han realizado será factible desde el punto de vista económico, por lo que antes de la construcción se realizan análisis y se valora económicamente la inversión a realizar.

Para realizar el cálculo del costo de inversión se utilizó el método de Peters ya que se diseña una planta totalmente nueva. Este método requiere conocer el costo de adquisición del equipamiento tecnológico para el cálculo del capital fijo de inversión dependiendo del tipo de planta en cuestión.

Cuando se requiere estimar el costo de un equipo para una capacidad, dimensiones o potencia dadas y la información disponible es de un equipo similar, pero de diferente magnitud se puede determinar el costo de adquisición deseado, usando los índices de escalado y aplicando la denominada regla del factor 0.6 o fórmula de los 6 décimos o de Williams.

En la tabla 6 se presenta el costo encontrado del equipamiento principal que se requiere para calcular el costo de adquisición del equipamiento tecnológico.

Tabla 6. Costo de adquisición del equipamiento tecnológico

Equipo	Precio (USD)	Año de referencia	Fuente de información
Evaporadores	307 883	2017	(13)
Bombas	7 500	2014	(14)
Tanque con agitación	199 500	2014	(14)
Centrífuga	134 040	2012	(13)
Envasadora	20 000	2014	(14)

Otros parámetros de importancia en la evaluación económica de la alternativa estudiada son los consumos de agua, de combustible y de electricidad por cuanto constituyen egresos.

Para la determinación de estos egresos (agua y electricidad), se utilizaron los precios y costos obtenidos en la destilería, los cuales se muestran en la tabla 7.

Tabla 7. Costos de los servicios auxiliares

Costo del agua clorada (CUC/m ³)	0.11
Costo de la electricidad (CUC/kW-h)	0.23

Para el cálculo de los ingresos se utilizaron los precios de venta de las sales y el alimento animal que se presentan en la tabla 8 (15, 16).

Tabla 8. Precios de las sales y alimento animal

Sulfato de potasio (CUC/kg)	5.00
Sulfato de calcio (CUC/kg)	7.00
Alimento animal (CUC/kg)	0.15

Para realizar la evaluación económica, se plantearon las consideraciones que se recogen en la tabla 9.

Tabla 9. Consideraciones para análisis económico

Tiempo de operación (h/día)	24
Tiempo de producción (d/año)	304
Tasa impositiva (t, fracción)	0.35
Tasa de interés (%)	12
Tiempo de vida económica (años)	5

También se calculó la relación beneficio-costos, la cual se obtiene dividiendo la ganancia neta entre el costo de inversión, esta es una medida de cuán económicamente factible es la alternativa seleccionada, ya que muestra la proporción que representan las ganancias de la inversión para un período de tiempo. Si esta relación toma valores mayores que uno, entonces las ganancias superan la inversión para el tiempo en que fue calculada la relación.

Para conocer si la alternativa es económicamente ventajosa, se realizaron cálculos de varios indicadores económicos como son: valor actual neto (VAN), plazo de recuperación del capital (PRC), plazo de recuperación del capital al descontado (PRCD), la tasa interna de rendimiento (TIR) y el retorno sobre la inversión (RSI), teniendo en cuenta las funciones financieras disponibles del Microsoft Excel 2010.

Análisis de los resultados

Resultados obtenidos a partir de la simulación

El esquema del proceso tecnológico obtenido en la simulación se presenta en la figura 3. En él se aprecian las dos etapas del proceso, la de concentración de vinazas integrada por los módulos SEP1, SEP2 y SEP 3 y C1, C2 y C3 y la de desalinización

representada por los módulos MEZCLADO y CENTRIF.

Validación del modelo de simulación del proceso

El modelo se validó comparando los resultados obtenidos en la simulación realizada con Aspen Plus v7.2 con los obtenidos por la herramienta SIDEL del ICIDCA.

Los resultados obtenidos de la simulación se muestran en detalle en las tablas 10, 11 y 12.

La tabla 10 muestra el resultado del balance de materiales en la etapa de concentración de la vinaza. Se observa que por la pequeña concentración de etanol y menor aún de sacarosa en los condensados estos podrían utilizarse en otras partes del proceso.

Se puede ver que la mayor evaporación se logra en E3, en donde el flujo de vapor que se obtiene es 11 814 kg/h que se pueden utilizar en alguna parte del proceso donde este se consuma.

La tabla 11 muestra el resultado del balance de energía en la etapa de concentración. El mayor calor intercambiado se evolucionó en el EF-3, justificando la mayor evaporación del equipo en el triple efecto.

La tabla 12 muestra los resultados del balance de masa en la etapa de desalinización.

En la tabla 13 se comparan los resultados obtenidos en la simulación de la desalinización con los mostrados por SIDEL.

Como se aprecia, los flujos comparados difieren en menos del 5 % de donde se puede considerar que el modelo de simulación reproduce el proceso de concentración y desalinización de vinaza por lo que su uso puede extenderse.

Ya validado el modelo se prosiguió a simular con las condiciones de operación de la destilería real, en la cual varía la composición de la vinaza (tabla 14) y su flujo, siendo este de 17 527 kg/h.

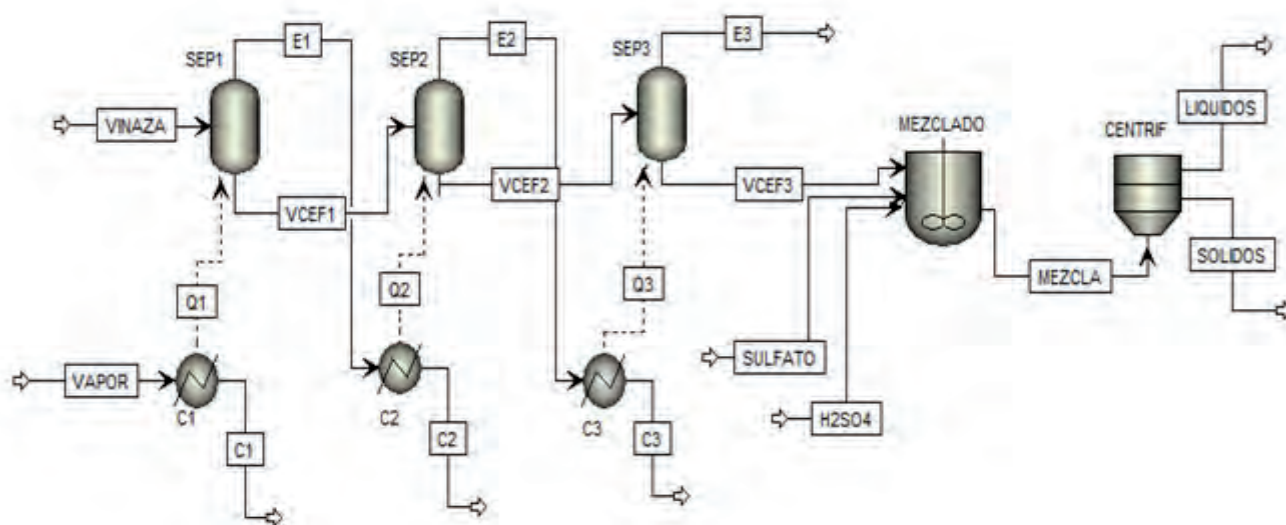


Figura 3. Esquema del proceso de concentración y desalinización para la simulación.

Tabla 10. Resultados obtenidos para las corrientes de materiales en la simulación de la concentración de vinaza

Corriente	Flujo másico (kg/h)	Composición				Temperatura (°C)	Fracción de vapor
		H ₂ O	Etanol	Sacarosa	K ₂ O		
VCEF1	31 952	0.8150	0.0020	0.0955	0.0874	101	0
VCEF2	20 694	0.7172	0.0003	0.1474	0.1350	74	0
VCEF3	8 880	0.3417	2.59e-05	0.3436	0.3147	42	0
E1	11 638	0.9719	0.0281	3.33e-07	-	101	1
E2	11 258	0.9949	0.0051	2.18e-07	-	74	1
E3	11 814	0.9994	0.0006	2.73e-07	-	42	1
EXTRACC	1 413	0.9719	0.0281	3.33e-07	-	101	1
C1	11 000	1	-	-	-	124	0
C2	10 225	0.9719	0.0281	3.33e-07	-	97	0
C3	11 258	0.9949	0.0051	2.18e-07	-	72	0

Tabla 11. Resultados obtenidos para las corrientes de energía en la simulación de la concentración de vinaza

Corriente	Energía intercambiada (kW)
Q1	6 726 027
Q2	6 363 955
Q3	7 284 582

Tabla 12. Resultados obtenidos para las corrientes de materiales en la simulación de la desalinización de vinaza

Corriente	Flujo másico (kg/h)	Temperatura (°C)	Presión (kPa)
Sólidos	1 360.62	42	101.325
Líquidos	3 001.71	42	101.325

Tabla 13. Comparación de los resultados obtenidos en la simulación de la desalinización con los mostrados por SIDEL

Parámetro	SIDEL	ASPEN	Error relativo (%)
Cantidad de sólidos obtenidos (kg/h)	1 296.8	1 360.62	4.7
Cantidad de alimento animal (kg/h)	2 905.9	3 001.71	3.2

Tabla 14. Composición de vinaza de la destilería estudiada

Componentes	Nombre en el simulador	Fracción másica
Agua	WATER	0.92720
Sacarosa	SUCROSE	0.00791
Ácido glutámico	GLUTAMIC	0.00659
Glicerol	GLYCEROL	0.01501
Ácido fumárico	FUMARIC	0.01190
Ácido láctico	LACTIC	0.01320
P ₂ O ₅	P2O5	1.9 E-05
K ₂ O	K2O	0.00528
CaO	CAO	0.00102
MgO	MGO	0.00071
Na ₂ SO ₄	NA2SO4	0.00137
Etanol	ETHANOL	0.00913

La tabla 15 muestra el resultado de la energía intercambiada en la etapa de concentración de vinaza. El mayor valor corresponde a EF-3, justificando la mayor evaporación del equipo en el triple efecto.

Tabla 15. Resultados obtenidos para las corrientes de energía en la simulación de la concentración de vinaza

Corriente	Energía intercambiada (kW)
Q1	2 712 103
Q2	2 566 110
Q3	2 937 331

En la tabla 16 se reporta la potencia consumida por el equipamiento asociado.

Tabla 16. Potencia consumida en los equipos del proceso

Equipo	Potencia consumida (kW)
Bomba	4
Evaporadores	21
Tanque mezclador	15
Centrífuga	20
Envasadora	5
Total (kW-h)	65
Gasto de electricidad (CUC/año)	75 816

En la tabla 17 se presentan los resultados obtenidos con el simulador cuando se utilizan los datos de flujo y composición de vinaza de la destilería estudiada.

Tabla 17. Resultados obtenidos para la destilería estudiada

Corriente	Flujo másico (kg/h)	Temperatura (°C)	Presión (kPa)
Sólidos	863.9	42	101.325
<i>De ellos:</i>			
<i>Sales de K</i>	575.6		
<i>Sales de Ca</i>	288.3		
Líquidos	1 904.13	42	101.325

Análisis económico

Para iniciar el análisis económico se actualizó el costo de todos los equipos al año 2018 ya que los precios reportados en la bibliografía no estaban actualizados. También fue necesario actualizar por

capacidad el precio de los evaporadores ya que las capacidades reportadas en la literatura (13, 14) difieren de las utilizadas en el proceso, que es de 100 m² para los evaporadores. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 18.

Tabla 18. Costo de adquisición del equipamiento tecnológico y costo de inversión total

Equipo	Precio actualizado (CUC)
Evaporadores	1 306 925
Bombas	14 382
Tanques	4 794
Centrífuga	13 903
Condensador	19 177
Envasadora	2 876
CAET	1 362 060

Como se aprecia, la etapa de concentración es la que mayor costo aporta a la inversión por el alto costo de los evaporadores, debiendo destinar 1 306 925 CUC a ellos. Aunque no aparece en el esquema de simulación, en el costo se incluyen las bombas necesarias y la envasadora requerida para la disposición de las sales.

El método de Peters arrojó que el costo de inversión total necesario para aplicar el tratamiento de concentración y desalinización a la vinaza en la destilería estudiada es de 6 633 232 CUC.

El resultado obtenido demuestra que la alternativa evaluada necesita un gran capital para su implementación ya que este valor está asociado a los bienes que van a ser utilizados en el proceso productivo de la empresa.

Con esta alternativa se resuelve el problema medioambiental presentado en la fábrica ya que se elimina el vertimiento de este desecho tóxico en los ríos y mares cercanos. Además, se obtienen beneficios económicos porque al tratar este desecho se obtienen ganancias producto de la venta de alimento animal y la venta de sales para fertilizante, confiriéndole a la vinaza el valor de una materia prima siendo un residual. La principal ventaja de esta alternativa es que se eliminan las pérdidas económicas por paradas en la producción,

ya que al realizar el tratamiento a la vinaza producida se seguirá la producción de sales y alimento animal mediante su concentración y desalinización, evitando que se acumule en los tanques.

En la tabla 19 se muestran los ingresos obtenidos por concepto de la venta de sales como fertili-

zante y venta de alimento animal considerando un año de 304 días laborables, de jornadas de 24 h, para 7 296 horas laborables al año.

Tabla 19. Ingresos obtenidos

Concepto	Ingresos (CUC/año)
Venta de alimento animal	2 055 240
Venta de sales de K	20 721 240
Venta de sales de Ca	14 530 824
Ingresos totales	37 307 304

La tabla 19 muestra que el mayor beneficio obtenido fue por concepto de venta de sales, constituyendo el 95 % de los ingresos totales.

Los egresos asociados al proceso de concentración y desalinización de vinaza se presentan en la tabla 20.

Tabla 20. Egresos asociados a la producción

Concepto	Egresos (CUC/año)
Vinaza	31 384 800
Electricidad	75 816
Agua	11 880
Ácido sulfúrico	679 622
Sulfato de amonio	413 222
Egresos totales	32 565 340

La relación costo-beneficio se calculó resultando para un año de 6.93 y para 5 años de 34.65.

Los resultados para el cálculo del VAN se muestran resumidos en la tabla 21.

De la tabla 21 se evidencia que a partir del tercer año se obtienen ganancias, ya que el valor del

indicador del VAN es positivo, lo que afirma que la variante estudiada es económicamente ventajosa.

En la tabla 22 se muestra el resultado del cálculo de los indicadores económicos. Se aprecia que se obtiene un plazo de recuperación del capital de 1.4 años, un plazo de recuperación del capital al descontado de 2.15 años, una tasa interna de rendimiento de 37 % y un retorno sobre la inversión de 71.5 %.

Tabla 22. Indicadores económicos

(TIR, %)	37.0
(PRC, años)	1.4
(PRCD, años)	2.15
(RSI, %)	71.5

CONCLUSIONES

1. Se evaluó la alternativa de concentración y desalinización de la vinaza en una destilería cubana obteniendo como resultados una producción de sales de 863.9 kg/h y de alimento animal de 1 904.13 kg/h.
2. Se validó el modelo comparando los resultados obtenidos en la simulación realizada con Aspen Plus v7.2 con los resultados obtenidos por la herramienta SIDEL del ICIDCA, arrojando un error de 4.7 % para la producción de sales y 3.2 % para la producción de alimento animal.
3. El análisis económico de la alternativa propuesta arrojó un costo de inversión de \$ 6 633 232 y tiene como indicadores económicos: un VAN positivo, una tasa interna de rendimiento de 37 %, un plazo de recuperación del capital de 1.4 años, un plazo de recuperación del capital al descontado de 2.15 años y un retorno sobre la inversión de 71.5 %.

Tabla 21. Resumen del cálculo del VAN

Año	% cap	As	Acf	fd	VAN
0	100	0	-6 633 232,23	1	-6 633 232
1	100	1780282800	1 146 869 793	0.893	-3 884 848
2	100	1780282800	1 146 869 793	0.797	-1 430 934
3	100	1780282800	1 146 869 793	0.712	760 060
4	100	1780282800	1 146 869 793	0.635	2 716 305
5	100	1780282800	1 146 869 793	0.567	4 462 953

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Houbron, E.; Sandoval, M.; Hernández, A.F. Tratamiento de vinazas en un reactor de lecho fluidizado inverso. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 32 (3) 255-266, 2016.
 2. Arteaga, L.; G. Carvajal, and O. Bolaños, Proceso de producción de etanol a partir de melazas, en Grupo de Investigación INMECNAR. 2016, Facultad de Ingeniería Química: Corporación Universitaria Autónoma de Nariño.
 3. Reis, C.R. Vinasse from sugarcane ethanol production: Better treatment or better utilization? 2017, University of Minnesota: Department of Bioproducts and Biosystems Engineering.
 4. Smith, C.B., Anaerobic digestion of vinasse for production of methane in the sugar cane distillery. Sugar Processing Research Conference, Aguas de São Pedro, 2006.
 5. Rocha, M.H.; E.S. Lora, and O.J. Venturini, Analysis of different alternatives for the treatment and disposal of ethanol vinasse. *Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol.*, Vol. 26, 2007 pp. 1075-1085.
 6. Gazzo, R.M. and V.G. Librandi, Tratamiento de desechos y aprovechamiento. 2014, Universidad de Palermo: Facultad de Ingeniería.
 7. Bermúdez, I.P. Tratamientos de efluentes de la industria alcoholera. Ventajas y desventajas, in *Revista Ingeniería Química*. 2008. p. 148-153.
 8. Carvalho, T.C. de and C.L. da Silva. Reduction of vinasse volume by the evaporation process, in 21st Brazilian Congress of Mechanical Engineering. October 24-28, 2011, Natal, RN, Brazil. 10 p.
 9. Larsson, E. and T. Tengberg. Evaporation of vinasse pilot plant investigation and preliminary process design, in Department of Energy and Environment. 2014, Chalmers University of Technology: Division of Heat and Power Technology.
 10. Conrado, A.S. Proyecto de desalinización de vinaza. *Revista Internacional de Azúcar*, 2016.
 11. Hernández, L. Laboratorio de simulación de procesos de la Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria. Simulación de procesos en ASPEN HYSYS, 2010.
 12. SIDEL. Herramienta para la simulación de destilerías: ICIDCA.
 13. Equipment costs for plant design and economics for chemical engineers. <http://www.mhhe.com/engcs/chemical/peters/data/ce.html>, 2002.
 14. Matches' engineering to chemical energy manufacturing metallurgical industries. <http://www.matche.com/equipcost/Default.html>, 2017.
 15. Scull, I.; Savón, L.; Gutiérrez, O.; & Valiño, E. (2012). Composición físico química de mostos concentrados para su evaluación en dietas destinadas a animales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 46 (4) 385-389, 2012.
 16. Segura, Y. G. (2016). Viabilidad comercial de la producción de fertilizante potásico para el mercado chileno. (Tesis para optar por el título de ingeniero industrial), Universidad católica Santo Toribio de Mogrovejo, Escuela de Ingeniería Industrial.
-

Análisis de sitio total en un complejo bioeléctrica – central – destilería en Cuba

Liosdany Oliva-Pérez^{1*}, Junior Lorenzo-LLanes², Ivan A. García-González²

1. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (Icidca).
Via Banca 804 y Carretera Central. San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba.

* liosdany.oliva@icidca.azcuba.cu

3. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría.
Calle 114 No. 11901 e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba

RESUMEN

En el presente trabajo se realiza un estudio que permite la utilización de forma eficiente de la energía generada en la industria azucarera. Se expone la necesidad de la modernización de los sistemas energéticos; así como la posibilidad de incrementar los actuales índices de generación eléctrica en los centrales azucareros de Cuba. Para ello se analizarán técnico y económicamente, alternativas que permitan la integración entre los procesos de bioeléctrica – central – destilería, utilizando las herramientas de simulación STA V4.1 y Aspen Pinch 11.1. A partir de la caracterización de las corrientes y la utilización de la herramienta de integración, sitio total, se logra un incremento de la eficiencia del complejo industrial. Obteniéndose una disminución de un 10.26 % de consumo de vapor de escape en el proceso de azúcar crudo. También se instalan un total de 30 MW. La alternativa seleccionada es el caso mejorado (CM) 3 debido a que engloba los CM 1 y CM 2. La TIR de un 32.9 % y VAN de 38 291 075 CUP para un costo de inversión de 40 415 870 CUP, lo que lo hace rentable.

Palabras clave: modernización, sistemas energéticos, sitio total, eficiencia.

ABSTRACT

In this work, an investigation is carried out that allows the most efficient use of the energy generated in the sugar industry. The need for the modernization of energy systems is exposed; as well as an assessment of the possibility of increasing current indices of electricity generation in sugar mills in Cuba. For this, alternatives that allow the integration between the processes of bioelectric - central - distillery will be analyzed technically and economically, from the simulation.

From the characterization of the streams and the use of the total site integration tool, an increase in the efficiency of the industrial complex is achieved. It was obtained a decrease in a 10.26 % in the consumption of exhaust steam in the raw sugar process. A total of 30 MW are also installed. The alternative selected is CM 3 because it includes CM 1 and CM 2. The TIR of 32.9 % and VAN of 38 291 075 CUP for an investment cost of 40 415 870 CUP, which makes it profitable.

Key words: modernization, energy systems, total site, efficiency.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe un desequilibrio entre países ricos y pobres en lo que a consumo energético se refiere. Si a ello se suma la concentración de los recursos de combustibles fósiles en unos pocos lugares y que los grandes países productores y los consumidores se sitúan en lados opuestos del pla-

neta, resulta un escenario poco tranquilizador para el equilibrio sociopolítico mundial.

La energía es un problema global y para acatar las decisiones correctas, los gestores de estas deben mirar el panorama mundial y basar sus decisiones en un análisis de ciclo de vida completa y con información energética confiable (1, 2).

En Cuba la disponibilidad de los recursos tradicionales (combustibles fósiles) es escasa, además

no cuenta con la tecnología más adecuada para su obtención.

El uso eficiente de la energía es una de las principales estrategias para mejorar la competitividad en los procesos industriales (3). Es también una medida concreta, no sólo para la conservación de los recursos energéticos fósiles, sino también para el abatimiento de los impactos ambientales derivados de la producción y consumo de energía, como son entre otros la contaminación del aire y el cambio climático (4, 5).

La producción de azúcar y alcohol de nuestro país se ha caracterizado por consumir grandes cantidades de energía térmica. La necesidad de implementar un sistema más eficiente y moderno para minimizar este consumo en ambos procesos es inminente (6).

Mediante los controles realizados por el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA) se tiene que alrededor del 40 % de los centrales no cumplen con la política de venta de energía al Sistema Electroenergético Nacional (SEN). También un 15 % no tiene las condiciones creadas para garantizar la biomasa (bagazo, paja, marabú) para continuar cogenerando durante las paradas de molida (7).

Con la aplicación de técnicas de integración de proceso se han reportado ahorros de energía (8), que van desde un 6 % a un 60 % con respecto al diseño original. La disminución del costo de la inversión ha sido alrededor de un 30 % con respecto al diseño original (9). Con el uso de, sitio total, en la industria azucarera se ha logrado disminuir el consumo de vapor en un 34 % y en 37 % para casos diferentes (10).

La existencia de bioeléctricas generando cantidades crecientes de electricidad la mayor parte del año, es una necesidad de seguridad nacional que está aún por satisfacer, no obstante existe una firme voluntad política en el gobierno cubano (11).

Para el trabajo de las bioeléctricas vinculadas a centrales en tiempo inactivo hay que tener en cuenta el balance del central, siendo el bagazo disponible alrededor del 15 % (12), según datos del grupo azucarero cubano AZCUBA.

Los estudios encontrados en Cuba hasta el momento solo tratan del mejoramiento del rendimiento técnico del proceso de producción azucarera y alcohol o de la necesidad de incremento de la generación de electricidad (5, 8, 13). En la literatura consultada no se presenta un panorama general de la unión de estas áreas con diferentes objetivos, pero con una estrecha relación.

Con el desarrollo tecnológico estos estudios pueden llevarse a cabo de una manera rápida y flexible. El uso de la computación y la simulación vinculada a esta es el camino a transitar.

El objetivo que se persigue en este trabajo es proponer alternativas de integración basadas en el análisis de sitio total para el diseño conceptual de las plantas bioeléctricas que permitan incrementar la eficiencia energética en un complejo industrial bioeléctrico – central – destilería en Cuba.

MATERIALES y MÉTODOS

Se utilizan como herramientas fundamentales los simuladores STA 4.1 y Aspen Pinch 11.1. El STA 4.1 es un simulador cuyo objetivo es facilitar la evaluación de los sistemas termoenergéticos (STE) en fábricas de azúcar crudo (14).

La simulación en el Aspen Pinch 11.1 facilita realizar de manera eficaz un análisis energético del proceso en evolución o diseño, solamente con la introducción de las corrientes y su contribución energética. Con Aspen Pinch 11.1 se hace fácil la utilización del sitio total que es extendida para considerar la integración de energía por varias plantas o los procesos usando la transferencia de calor indirecto o directo.

Descripción del STE del ingenio

En el trabajo se evaluó energéticamente un central de azúcar crudo, con una molida potencial de 115.75 kg/s. Tiene una refinería adjunta que requiere 5.56 kg/s de vapor para su producción.

Generación de vapor y electricidad

Posee tres turbogeneradores de 4 MW, que operan a la presión y temperatura del vapor sobrecalentado (directo) de 2861 kPa y 663 K que sale de los generadores de vapor. Se tiene cuatro generadores de vapor dos de 16,67 kg/s y otro par de 12, kg/s. El vapor directo pasa por una válvula reductora (VR) para uso del secador de la refinería y la limpieza de tachos y de molinos. Si el vapor de escape de los turbos no es suficiente para la zona de producción también se hace circular vapor por otra válvula reductora de alta (VRA). La presión de escape de los turbos es 260 kPa. La fábrica demanda 9600 kW de potencia.

La figura 1 muestra el diagrama de flujo de información obtenido del STA para el central.

Destilería

Con el fin de dar paso a las tendencias actuales; se hace necesario la vinculación íntegra de una destilería con una capacidad de producción de 450 hl/d. La materia prima que se utilizaría en la fábrica es miel B, pero la destilería también podría trabajar con miel final del proceso de producción de azúcar crudo, que se almacena en las cisternas.

La figura 2 muestra el diagrama de flujo de infor-

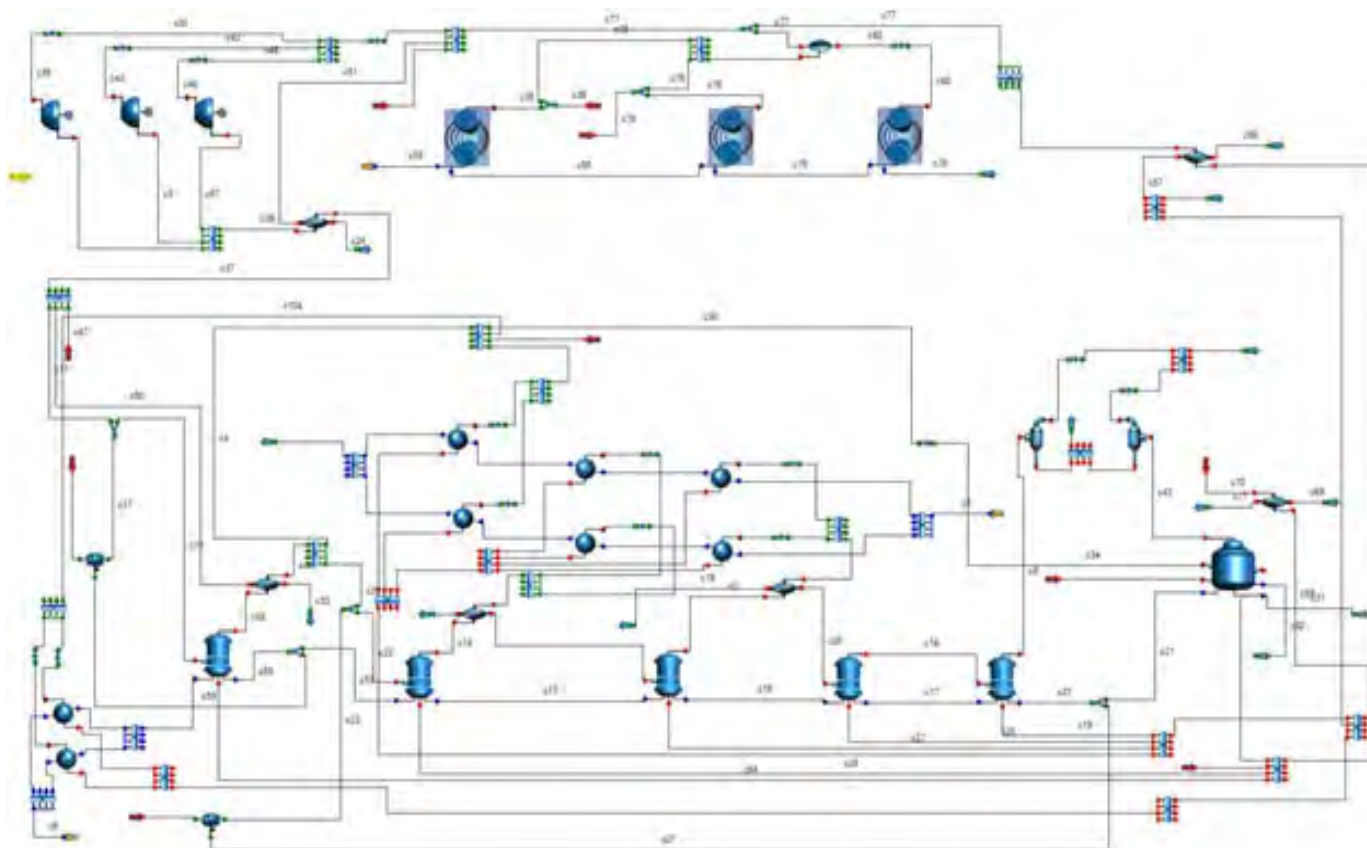


Figura 1. Diagrama de flujo de información del central.

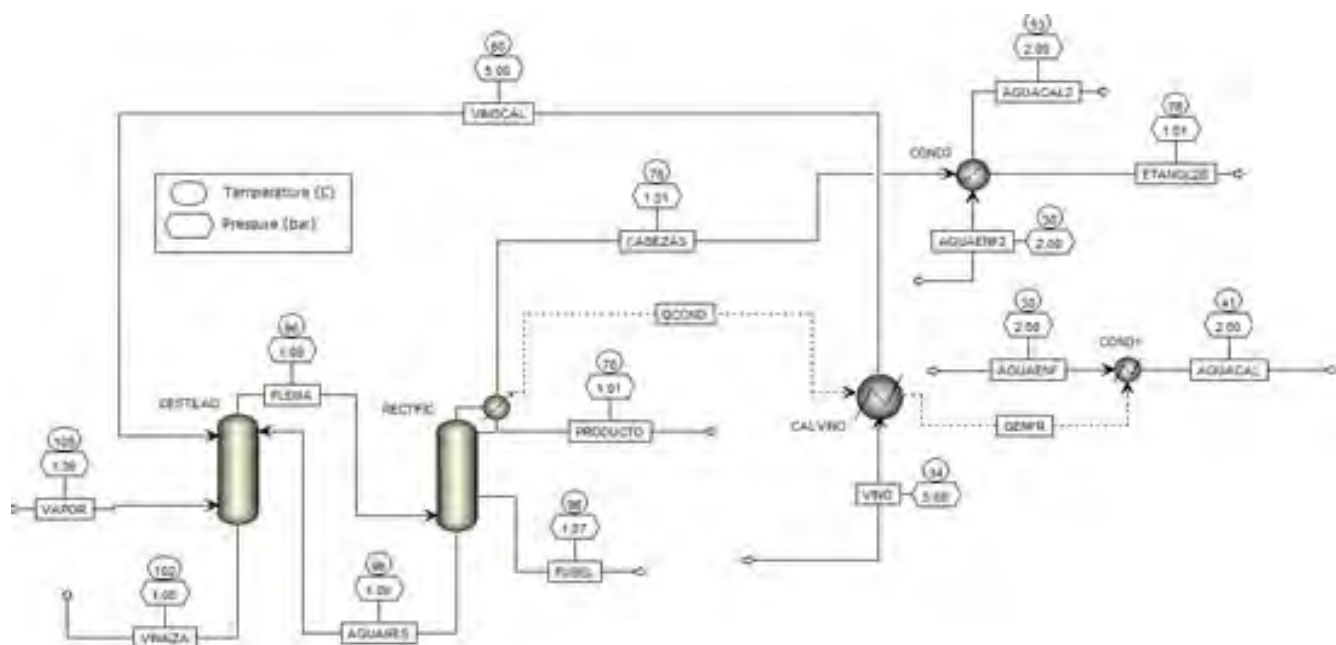


Figura 2. Diagrama de flujo de información de la destilería.

mación de la destilería en cuestión.

Datos para el estudio de integración

En las tablas 1, 2 y 3 se representan las corrientes de interés para la realización del estudio de inte-

gración energética.

Para el cálculo del ΔH (flujo calórico o potencia) se utilizaron las ecuaciones:

$$\Delta H = m \cdot C_p (T_2 - T_1)$$

Ec. 1

$$\Delta H = m \cdot (h_2 - h_1)$$

Ec. 2

Tabla 1. Bioeléctrica

Nombre de las corrientes	Presión (kPa)	Temperatura (K)
Vapor de alta presión	2861	663
Vapor de escape	260	483

Tabla 2. Producción de azúcar crudo

Operación	Temperatura inicial (K)	Temperatura final (K)	ΔH (kW)
Jugo mezclado	317.15	378.15	25776.6
Jugo claro	370.15	394.15	10885.4
Evaporación en V1	392.04	392.09	62505.4
Condesado en V1	386.57	386,57	43834.3
Condesado en V2	378.49	378.48	45667.4
Condesado en V3	378.26	377.82	33963.6
Condesado en V4	363.29	363.29	38916.5
Condesado en V5	362.919	362.02	22072.8

Tabla 3. Destilería

Operación	Temperatura inicial (K)	Temperatura final (K)	ΔH (kW)
Vino	351.15	350.15	1111.04
Vapor tope columna 2	351.15	350.15	0.529
Vinaza columna 1	373.15	308.15	216.53
Agua de reposición	352.15	305.15	12.869
Alcohol rectificado	352.15	305.15	121.824
Vapor de cabeza	359.15	368.15	1.37
Cola	307.15	339.15	8.373

Donde:

m: es flujo másico de la corriente [kg/s],

Cp: capacidad clórica específica [kJ/kg °C],

h: entalpía específica [kJ/kg]

Los valores de entalpía específica se obtuvieron a través de tablas de las propiedades del agua y las capacidades caloríficas (del material azucarado) se calcularon mediante la ecuación 3.

$$C_p = 4,19 - 0,0234 \cdot \text{Brix}$$

Ec. 3

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caso base

Análisis de los indicadores

Para tener un bosquejo del funcionamiento del ingenio caso base se le realizó un estudio de diferentes indicadores operacionales. Los indicadores

se dividen en grupos; los globales, por área y por equipos. En la tabla 4 que se muestra presenta una parte de los indicadores globales.

Según la literatura especializada en la fábrica debe de haber entre un 5 % y un 10 % de bagazo sobrante para los arranques, parada o liquidaciones (15). En este caso se ve que se tiene más del valor necesario para las funciones anteriormente mencionadas lo cual implica que no se corre ningún riesgo de tener que utilizar combustible alternativo para el funcionamiento de los generadores de vapor. Este sobrante está condicionado por el consumo de vapor de la fábrica y el valor calórico inferior del bagazo (asociado a su humedad). Por tanto, si se logra reducir el consumo de vapor y la humedad del bagazo se pudiera alcanzar un mayor excedente de este último además que se ganaría en eficiencia energética. Según Rein (15), el consumo de vapor en los centrales más eficientes es inferior al 40 % del peso en caña.

En cuanto al vapor expulsado a la atmósfera se obtiene cero como se presenta en la tabla 4, lo

que representa que no hay un gasto tanto de masa (agua con la calidad para usar en el proceso) como de energía. En el ingenio existen dos lugares donde puede ocurrir este fenómeno: en la VRA y VRP. Debido a que el vapor expulsado es cero, en la reductora de alta no habrá que disminuir la carga de los turbos y no se verá afectada la producción de electricidad que en este caso se encuentra al máximo. Con el mismo valor en la reductora de proceso se induce que hay una buena sincronización en la zona de evaporación.

Otro indicador a revisar es el flujo de vapor por la VRA y la VRP. Para compensar las fluctuaciones normales del consumo de la estación de tachos es necesario y conveniente pasar vapor por la válvula reductora de alta presión, pues es más ventajoso económicamente que compensar estas fluctuaciones con los turbogeneradores. Los valores típicos de este indicador se encuentran entre 5 y 25 % de peso en caña. En cuanto al flujo que se hace pasar por la de proceso depende del déficit de evaporación del pre-evaporador (V1), ya que no siempre es conveniente aumentar la magnitud de la extracción. Para la reductora de proceso, una de las soluciones sería tomar las extracciones del primer vaso y colocarlas en otro vaso de ser posible, el valor que presenta es alto.

En la tabla 5 se muestran los indicadores por área. Los valores están sujetos a la estructuración del área de evaporación, esquema con el cual se efectúa la cocción de las masas y la eficiencia de trabajo del área de evaporación que es de 50.33 % para el caso base (CB). Esto se debe a que hay pér-

didas considerables al condensador barométrico, lo cual es un efecto indeseable en cualquier sistema de evaporación. Para lograr un mejor comportamiento se hace necesario disminuir la evaporación (la distribución apropiada del brix en los efectos) del último efecto o emplear la misma en un equipo de calentamiento. En este efecto la evaporación tiene un elevado calor latente, volumen específico y baja temperatura debido a las bajas presiones, la cual limita su uso para el intercambio de calor.

Para el estudio del comportamiento de los equipos se realizó el cálculo de sus indicadores. Los valores obtenidos indican que el grupo de calentadores del jugo mezclado posee baja efectividad termodinámica lo cual está ocasionado por la diferencia terminal de temperatura. La efectividad es la relación entre la máxima cantidad de calor que se puede transferir y la cantidad de calor que se transfiere del vapor de calentamiento al jugo, como se ilustra en la ecuación 4.

$$Efectividad\ temica = \frac{\Delta T\ jugo}{T_{vapor} - T_{entrad\ del\ jugo}}$$

Ec. 4

En el sistema de calentadores de jugo mezclado el ΔT del jugo siempre es el mismo y la temperatura del vapor de calentamiento está en función del efecto en que se realice la extracción. En el calentador primario el vapor de que se utiliza es del 3er. efecto con una temperatura relativamente alta para ser empleada en este calentador. Existen variantes con las que se puede aumentar la efectividad termodinámi-

Tabla 4. Indicadores globales

Indicadores	Valor
Bagazo sobrante (% disponible)	21.48
Consumo vapor de la fábrica (% peso en caña)	46.60
Vapor directo a escape reductora de alta (% flujo másico caña)	11.45
Vapor escape reductora proceso (% flujo másico caña)	9.12
Vapor total expulsado a la atmósfera (% peso en caña)	0
Producción eléctrica específica de la fábrica (kW-h/t caña)	28.79
Demanda eléctrica específica de la fábrica (kW-h/t caña)	23.033

Tabla 5 Indicadores por área

Indicadores	Valor
Consumo de vapor en tachos (% peso en caña)	14.13
Pérdidas de calor evaporación al condensador barométrico del múltiple (% demanda del múltiple efecto)	25.03
Pérdidas calor en evaporaciones a condensadores barométricos de casa de calderas (%)	49.67

ca, gracias a que las otras variables que intervienen se pueden fijar en la simulación.

Del comportamiento de los evaporadores los coeficientes globales de transferencia de calor se encuentran con valores descendentes a medida que se avanza en el múltiple efecto, pero en el 5to vaso el valor no es el típico de este. La tasa de evaporación es elevada en el 3er., 4to. y 5to. vaso. Solo se justifica la elevada tasa de evaporación del 3er vaso debido a que se realizan extracciones en este. En cuanto al 4to. y 5to. vaso se infiere que tienen un área pequeña para la molida o demasiada evaporación para la superficie de intercambio de calor que posee.

Integración energética en el ingenio

En el estudio del ingenio para ΔT de 10°C como mínimo valor de separación en las curvas para industrias químicas (16), el punto pinch se encuentra a una temperatura de 49°C . El potencial energético mínimo de calentamiento necesario para este proceso es de 94588 kW.

El análisis pinch se realiza para ver de forma eficiente los verdaderos requerimientos de energía del caso base. En las curvas que se obtuvieron no se observa verticalidad en ella por lo que no hay un aprovechamiento óptimo del potencial calórico en las corrientes que intervienen en el proceso.

El consumo total de servicio auxiliar de calentamiento del proceso de producción de azúcar crudo es de 44,12 kg/s; a través del análisis realizado se puede ver que con la correcta utilización de las co-

rrientes del sistema se logra disminuir ese consumo en un 20.52 %. En el central se está sobreutilizando el vapor de escape, lo cual se puede corregir con la aceptada distribución de las líneas de vapor en el proceso crudo.

Integración de la destilería

El examen realizado al proceso de producción de alcohol de manera energética, brinda un flujo calórico mínimo necesario para el funcionamiento de la destilería de 781 kW.

Al igual que en el caso del central el ΔT es 10°C , las curvas no tienen verticalidad en ella por lo que tampoco aquí hay un aprovechamiento óptimo en las corrientes que intervienen en el proceso.

Análisis del sitio total

Para comprender las necesidades del complejo como un todo y poder realizar las reestructuraciones necesarias, para un uso más eficiente del vapor que se dispone, es imprescindible un análisis de energéticos de las corrientes del sistema. Para ello en la figura 3 y 4 se muestran los resultados que se obtuvieron del estudio.

A partir de la figura 3 se determina que el flujo calórico que se necesita para satisfacer la demanda del sitio total es de 95084 kW. Aquí se ve que la mayor demanda que se tiene es de la evaporación del primer vaso. También la figura muestra la cantidad de calor que se puede recuperar entre los dos procesos.

En la figura 4 aparece la distribución del vapor a

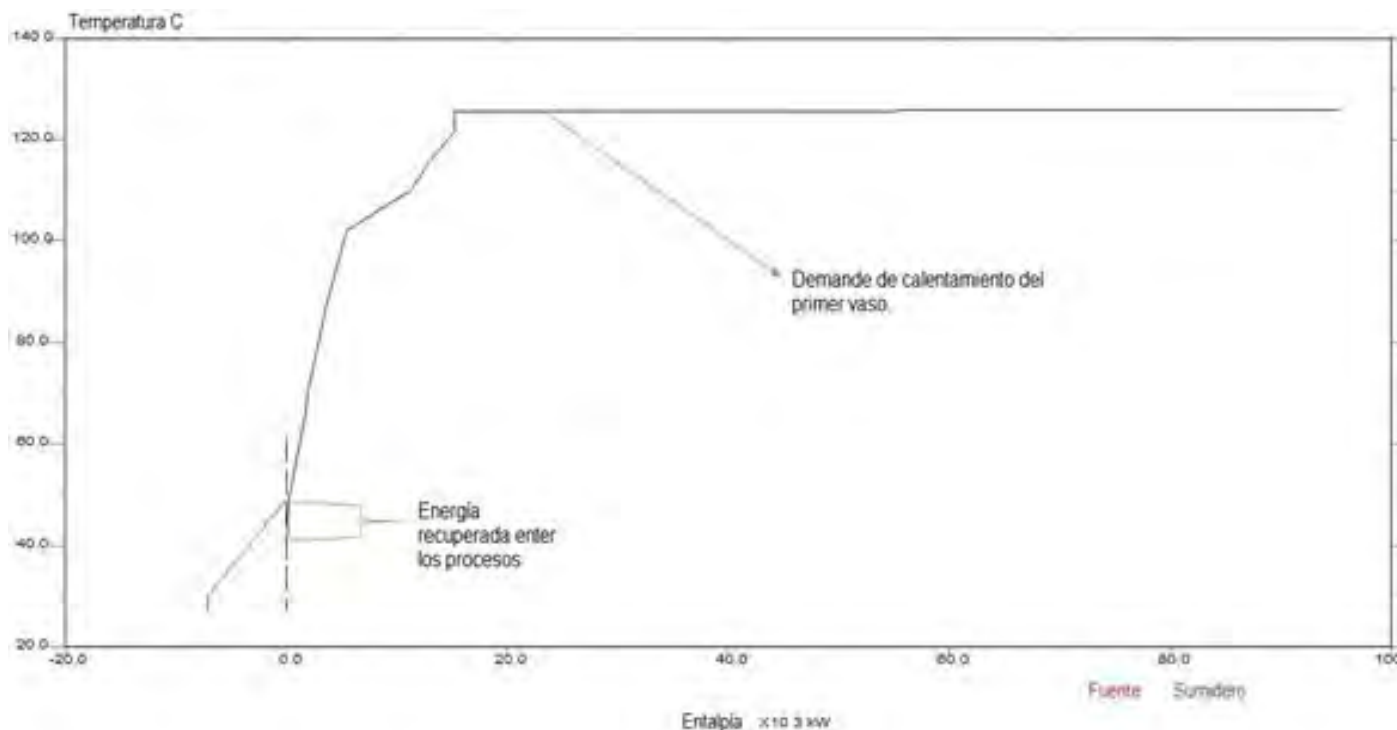


Figura 3. Perfiles de fuente y de sumidero de energía del complejo.

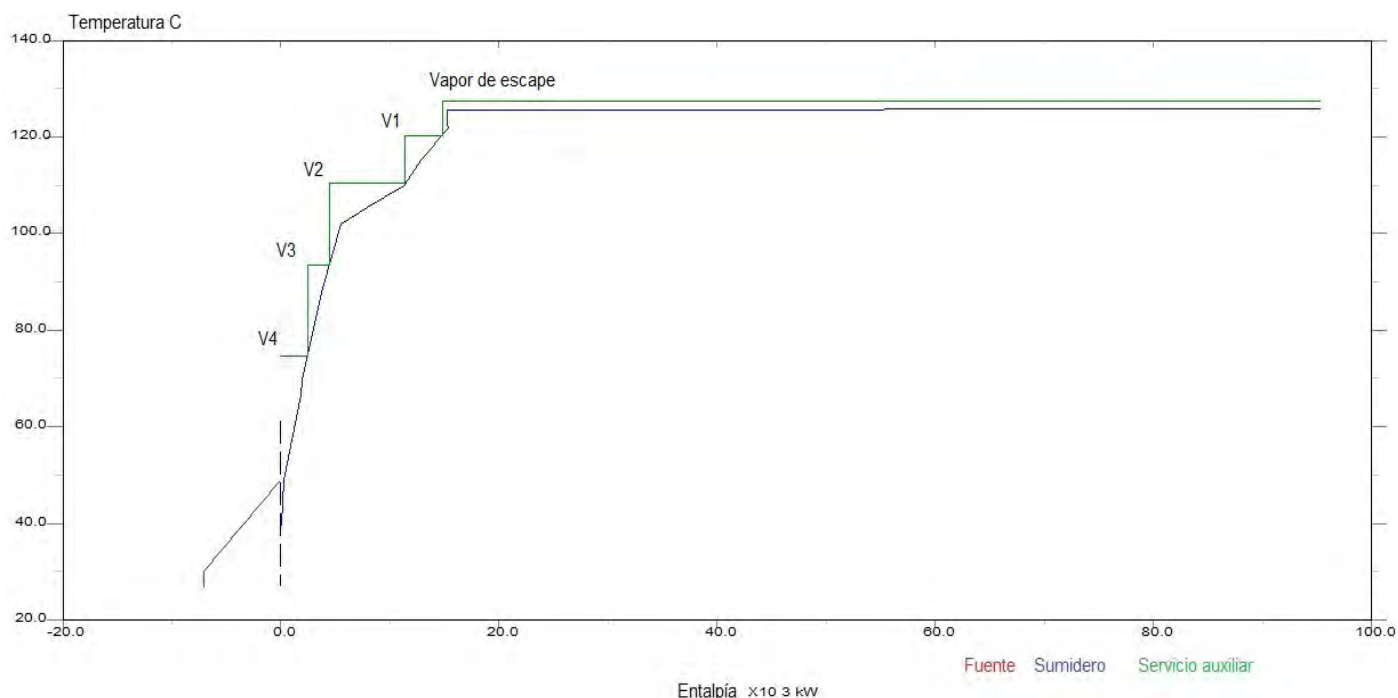


Figura 4. Composición de vapor del complejo basado en los perfiles de la fuente y el sumidero de energía.

distintos niveles según la necesidad. La distribución se hace con la evaporación del primer efecto hasta el cuarto efecto y el vapor de escape. Si no se tiene en cuenta la demanda de vapor de la estación tacho el mayor flujo calórico que demanda el proceso es el del segundo efecto.

Alternativas de mejoras

En las tablas 6 y 7 se recogen los resultados de los indicadores antes evaluados para el caso base.

En la tabla 6 para CM 1 se evidencia que con la

implementación de la maza Lotus se logra un mayor excedente de bagazo, esto es posible debido a que con la disminución de la humedad aumenta el valor calórico del bagazo se necesita menos cantidad para producir el mismo flujo de vapor. En el mismo caso con el aumento a 65 el brix de la meladura se logra una disminución del consumo de vapor en los tachos y una eficiencia de la zona de evaporación de 49.24 %.

En el CM 1 como no se realiza ningún cambio en

Tabla 6. Comparación casos mejorados(CM). Indicadores globales

Indicadores	CM 1	CM 2	CM 3
Bagazo sobrante (% disponible)	27.11	36.05	15.72
Consumo vapor de la fábrica (% peso en caña)	45.60	40.01	50.16
Vapor total expulsado a la atmósfera (% peso en caña)	0	0	0
Producción eléctrica específica de la fábrica (kW-h/t caña)	28.79	28.79	71.97
Demanda eléctrica específica de la fábrica (kW-h/t caña)	23.03	23.03	23.03

Tabla 7. Comparación casos mejorados(CM). Indicadores por área

Indicadores	CM 1	CM 2	CM 3
Consumo de vapor en tachos (% peso en caña)	12.58	12.09	12.09
Pérdidas de calor evaporación al condensador barométrico del múltiple (% demanda del múltiple efecto)	25.82	14.71	14.71
Pérdidas calor en evaporaciones a condensadores barométricos de casa de calderas (%)	50.78	42.16	42.16

el esquema de calentamiento y en el de evaporación el funcionamiento del equipo permanece igual que el CB.

Para el CM 2 manteniendo las mejoras realizadas en el CM 1 y con la adición de la integración del complejo se logran resultados favorables. Aquí se obtiene un aumento considerable del excedente de bagazo, que está ligado al mejor aprovechamiento del vapor que se genera. En este caso mejorado se consume menos vapor. El CM 2 brinda una eficiencia en la zona de evaporación de 51.4 %. Con la realización de la integración energética se logra reducir el consumo de vapor en el proceso de crudo en 10.26 % lo que demuestra que es posible lograr cambios favorables con el uso eficiente del vapor sin la necesidad de acudir a nuevas tecnologías. También el estudio dicta que es posible la alimentación a la destilería con la evaporación del 2do. vaso.

La diferencia más notable del comportamiento de los vasos evaporadores es en la tasa de evaporación del último efecto. En el CM 2 se realizan extracciones desde el primer hasta el cuarto efecto para las necesidades del sistema, por lo que se entiende la elevada tasa de evaporación relativa de los vasos. En la tabla 8 se muestra una comparación de la economía y la tasa de evaporación por vaso en los casos mejorados 1 y 2.

En ambos casos la economía de los vasos es ascendente, que es una de las maneras de corroborar el buen funcionamiento del múltiple efecto.

La única diferencia entre el caso base y el CM 1 es el bagazo sobrante y aumento de la eficiencia en la zona de evaporación. El CM 2 ofrece, además de lo anteriormente visto, la disminución del flujo de vapor por ambas válvulas reductoras disminuyendo así las pérdidas exergéticas. Para este caso se tiene 4.26 % y 5.21 % en peso de caña para la válvula de alta y de proceso; indicando que se está haciendo un manejo eficiente de la energía que contiene el vapor utilizado en los equipos del proceso.

Para un logro global de la eficiencia energética de los complejos industriales correspondientes a la caña de azúcar, se hace necesario el conocimiento preciso de los requerimientos de cada área. Se

necesita conocer la demanda de utilidades no de la planta en general (refinería, destilería); sino la segmentación de estas demandas por etapas de cada proceso productivo para lograr una acertada distribución de los vapores a nuestra disposición.

Los coeficientes globales de transferencia de calor obtenidos en los calentadores, en el CM 2, mejoraron respecto a los que se tenían en CB. Esto fue posible ya que se aprovechó la extracción del 4to. vaso para el calentador primario, la extracción del 3er. vaso para el secundario y la extracción del 2do .vaso para el rectificador. Los cambios se efectúan con el objetivo de mejorar la transferencia de calor y disminuir el consumo de vapor de la fábrica.

A pesar de lograr mejoras considerables en el funcionamiento del complejo que se plasma en los diferentes indicadores, hay cambios que todavía se pueden realizar. Por ello en el CM 3 trae a colación el incremento de la capacidad del sistema de producción eléctrica a 30 MW manteniendo los cambios realizados en los casos anteriores.

Una de las opciones tecnológicas más conocidas para mejorar el índice de generación de electricidad es la introducción de una turbina de extracción condensación para la generación dentro y fuera de zafra. Por lo que en el CM 3 se instala un turbogenerador de contrapresión (TGCP) de 5 MW y un turbogenerador de extracción condensación (TGEC) de 25 MW, con lo que se logra vender 48.94 kW-h/t caña. Esta alternativa tiene un impacto directo en los ingresos por concepto de venta de electricidad al SEN e indirectamente el país logra ahorrar dinero por concepto de consumo de combustible fósil.

El empleo del TGCP facilita la estabilidad del TGEC ya que posibilita trabajar a la máxima capacidad de potencia instalada. Permite que este último sea operado en las condiciones que recomienda el fabricante y con la cuantía de extracción adecuada. Este es un equipo muy costoso e importante para lograr una generación significativa de electricidad.

Para la TGEC el salto entálpico depende de la presión de entrada del vapor sobrecalentado y de la presión en el vapor de escape que entra al condensador, en la medida que esta diferencia aumenta

Tabla 8. Comparación CM 1 y CM 2 vasos evaporadores

Vasos	Economía (adimensional)		Tasas de evaporación(kg/h-m²)	
	CM 1	CM 2	CM 1	CM 2
1	0.90	0.91	34.31	34.31
2	1.00	1.00	32.74	39.41
3	1.05	1.05	53.53	51.88
4	1.07	1.05	45.63	39.42
5	1.09	1.16	49.96	28.46

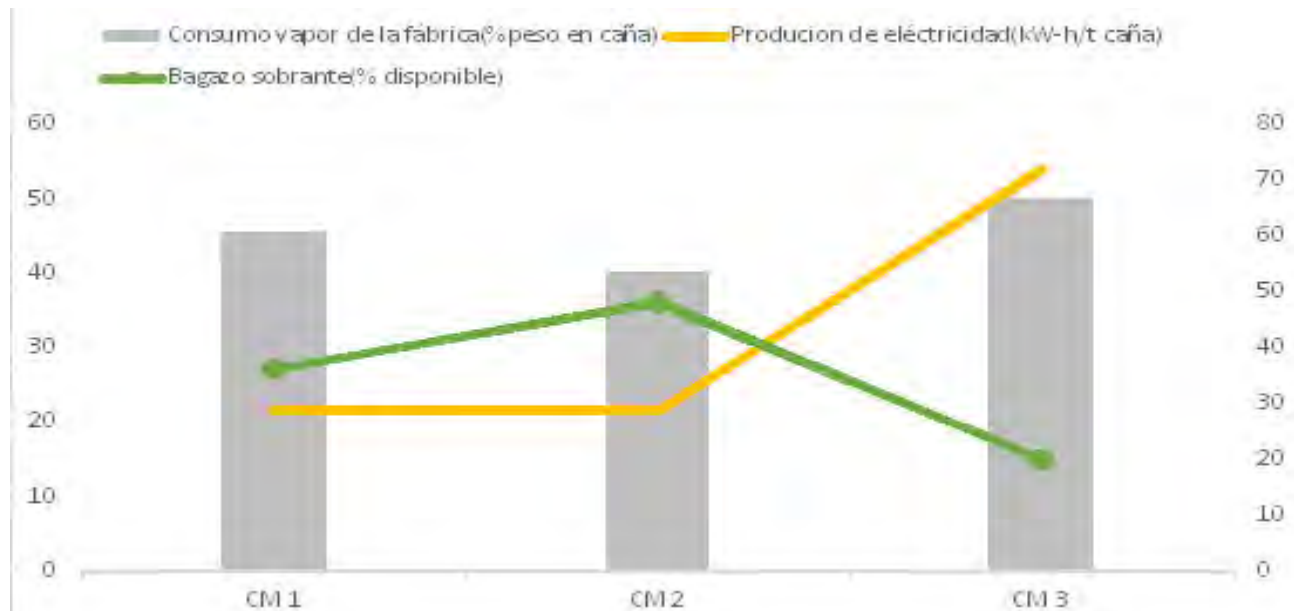


Figura 5. Comportamiento del bagazo sobrante, consumo de vapor de la fábrica y producción eléctrica en las diferentes alternativas.

mayor será la disponibilidad de hacer trabajo. Este tipo de turbinas resulta muy útil si el objetivo es generar grandes cantidades de electricidad para las ventas al SEN durante todo el año. Aunque presentan el inconveniente de que el costo es mayor que el de una turbina de contrapresión de similar potencia. Esto puede ser compensado a largo plazo cuando la bioeléctrica comience a recibir ganancias por concepto de generar electricidad sin el empleo de combustibles fósiles.

A pesar que se redujo el consumo de vapor de la fábrica a través del eficiente uso del vapor en el proceso del crudo, en CM 3 aumenta el consumo de la fábrica debido a un aumento de la capacidad eléctrica instalada. En la figura 5 se establece una perspectiva entre los tres casos en cuanto al bagazo sobrante, la producción eléctrica y el consumo de vapor de la fábrica.

En la gráfica se esclarece las diferencias entre los tres CM con los parámetros antes mencionados. A pesar de tener un mayor consumo de vapor y un menor bagazo sobrante, se produce mayor electricidad en el CM 3; este también permite producir electricidad en el tiempo de no zafra. Debido a que la mayor prioridad es la ayuda a la economía y sostenibilidad del sistema del país se escoge el CM 3.

El tiempo de operación de no zafra para la bioeléctrica es de 59 días dando un total de días

de trabajo al año de 239. Desde el punto de vista de la política de desarrollo del país esto es un gran avance.

CONCLUSIONES

1. Se logró simular el caso base de los procesos involucrados en el estudio de la integración.
2. Se determinó los requerimientos energéticos mínimos de cada proceso con 94 588 kW para el ingenio y 781 kW para la destilería. Para el complejo industrial se obtuvo 95 084 kW.
3. A partir del análisis del sitio total se obtuvieron alternativas para el complejo industrial bioeléctrica-central-destilería con las que se logra aumentar el sobrante de bagazo, la disminución del consumo de vapor de la fábrica y aumentar la generación de electricidad para vender un total de 20 400 kW-h.
4. En el CM 3 aumenta el consumo de vapor de la fábrica y disminuye el bagazo sobrante pero se gana en venta de electricidad al SEN, además de poder seguir generando electricidad en período de no zafra de 59 días, resultando un VAN de 38 291 075 CUP con una TIR de 32,9 % para el proyecto de inversión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Recursos energéticos globales. 2013: World Energy Council.
 2. Jeffries, B. El informe de la energía renovable, S. Singer and J.P. Denruyter, Editors. 2011, WWF, ECO-FYS, OMA.
 3. Boldyryev, S., Krajačić, G. and Duić, N. Cost Effective Heat Exchangers Network of Total Site Heat Integration. Chemical Engineering Transactions, 2016: p. 541-546.
 4. Fabelo, F.J.A., González, S.E. and González, C.M. Análisis del manejo eficiente del agua y la energía en una destilería de etanol. . Centro Azúcar, 2013. 40.
 5. Cortés, M.G., *et al.* Impacto de la integración de los procesos de azúcar y derivados. Tecnología Química, 2013. 33: p. 20-26.
 6. Ramos, M., Cortés, M.G. and Pedraja, R.E. Integración de procesos y análisis de cogeneración en las producciones de azúcar y alcohol. Centro Azúcar, 2014. 41(4): p. 50-58.
 7. Consolidación semanal eficiencia energética con macro zafra 2016-2017. 2017, ICIDCA.
 8. Cortés, M.G., *et al.* Análisis de factibilidad de la integración de los procesos de producción de azúcar y alcohol. AFINIDAD, 2013. 70: p. 284-288.
 9. Perez, G.A. Implementación de algoritmos de Análisis Pinch para la integración energética en industrias de procesos 2008, CUJAE.
 10. Pina, E.A., *et al.* Reduction of process steam demand and water-usage through heat integration in sugar and ethanol production from sugarcane—Evaluation of different plant configurations. Energy, 2015.
 11. Salabarría, L.G. Diseño conceptual y operación del conjunto Bioeléctrica – Ingenio: Análisis de casos, in Facultad de Ingeniería química. 2014, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría.
 12. Premisas compendio de cálculos energético 25 bioeléctricas. 2017, ECIAS.SA.
 13. González., A.M.R., Rodríguez, M.A.R. and Díaz, P.R.R. Estudio económico y consideraciones técnicas sobre la conveniencia del empleo de presión de vapor de 65 ó 100 bar para la construcción de bioeléctricas en Cuba.
 14. Borges, R.J., Yanes, J.P.M. and Llanes, J.L. Oportunidades de incremento de energía eléctrica en los centrales azucareros de la provincia de Cienfuegos.
 15. Rein, P. Cane sugar engineering. 2016: Verlag Dr. Albert Bartens KG.
 16. Duque, M.G. Tecnología Pinch. 2003, Instituto superior politécnico José Antonio Echeverría.
-

Solución ambiental de efluentes de una empresa azucarera con ingenio, destilería y bioeléctrica

Georgina Michelena-Alvarez*, Dania Alonso-Estrada, Orly López-Delgado

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA).

Vía Banca 804 y Carretera Central. San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba.

* georgina.michelena@icidca.azcuba.cu

RESUMEN

En el trabajo se presenta dos propuestas de soluciones ambientales de efluentes de una empresa azucarera con ingenio, destilería y bioeléctrica. El sistema de tratamiento está basado en la combinación de lagunas, producción de biogás y luego el efluente emplearlo para el fertirriego. Se consideraron las corrientes de cada planta con descripción de la información y los tratamientos que se sugieren y el cumplimiento de las regulaciones ambientales establecidas en el país.

Palabras clave: tratamiento de residuales, solución ambiental, empresa azucarera.

ABSTRACT

The work shows two proposals for environmental solutions of effluents from a sugar mill factory, distillery and bioelectric plant. The treatment system is based on the combination of gaps, biogas production and then use the effluent for fertigation.

The currents of each plant were considered with a description of the information and suggested treatments and compliance with environmental regulations established in the country.

Key words: biocatalysts in obtaining bioethanol, immobilization, magnetic nanoparticles.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la industria azucarera y sus derivados a partir de la caña de azúcar, es una de las fuentes de más impacto en la contaminación debido a la generación de altos volúmenes de residuales líquidos de alto poder contaminante. Esto ha conllevado a que surjan restricciones cada vez más severas con relación al vertimiento de los efluentes industriales, por lo que deben ser tratados adecuadamente a fin de reducir la contaminación ambiental.

El sector industrial azucarero cubano requiere de realizar acciones que minimicen el impacto ambiental mediante la aplicación de tratamiento a los residuales. Debido a esto, se ha elaborado la solución tecnológica para definir el sistema de tratamiento de los efluentes de una empresa azucarera que además cuenta con una destilería y la próxima instalación de una bioeléctrica.

Se pueden enumerar varios métodos de tratamiento para las aguas residuales de esta industria, que dependiendo de su eficiencia tendrán mayor o menor costo de inversión y operación. Teniendo en cuenta que el país debe dedicar el mayor número de recursos a su propio desarrollo industrial, se ha seleccionado un método que logre un compromiso o balance adecuado entre los factores mencionados y se considera una propuesta alternativa.

El uso de sistemas de tratamiento basado en la combinación de lagunas, producción de biogás y luego emplear el efluente para el fertirriego es una medida conveniente, teniendo en cuenta que son estructuras de fácil operación y mantenimiento, que logra disponer el residual de forma económica, eficiente y el clima del país es favorable para este fin.

El objetivo de este trabajo es suministrar la información acerca del sistema de tratamiento de los residuales de una empresa azucarera con producción de derivados cumpliendo con las regulaciones ambientales establecidas en el país.

BASES CONCEPTUALES DEL PROYECTO DE SOLUCIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUALES

La concepción general de la solución integral de los residuales del complejo agroindustrial responde a conceptos del diseño que garantizan disminuir del impacto ambiental y la consecuente producción y consumo sostenible.

Para cumplir este objetivo, se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Segregación de los efluentes líquidos generados en el proceso según sus características.
2. Empleo de sistemas de enfriamiento con agua tratada y circuitos cerrados para el uso eficiente

del agua: Ej. En la planta moledora, las aguas de enfriamiento de los molinos, turbogeneradores, bombas de vacío, compresores; en la destilería, condensadores y control de la temperatura de los fermentadores.

3. Recuperación al máximo de los condensados que permita su utilización como agua de alimentación a las calderas y uso tecnológico.
4. Disminución al mínimo indispensable de las aguas empleadas en la limpieza de los equipos del proceso y recuperar como agua dulce los enjuagues.
5. La cachaza en todos los casos deberá ser extraída en seco y nunca ser diluida.
6. Las fugas de jugos azucarados deben ser reducidas al mínimo.
7. Mantener una estricta vigilancia en los parámetros de operación.
8. Garantizar niveles suficientemente altos para evitar inundaciones, el drenaje pluvial será por medio de un sistema de canales.
9. Las instalaciones del sistema de recolección de residuales interiores tendrán las zanjas y canales tapados, diseñados con pendiente óptima.
10. La necesaria higiene y asepsia del proceso de molienda se logra, con agua caliente a presión y vapor de escape sin la aplicación de productos químicos.
11. El bagazo, al salir de la planta moledora es conducido por transportadores de arrastre a través de galerías cubiertas para su combustión.
12. Tanto la ceniza de las calderas como la cachaza coproductos del proceso productivo se almacenan en tolvas y se trasladan a la planta de compost para utilizarlos como fertilizantes, lo que ayuda a restituir los nutrientes a los campos de cultivo.
13. Existencia de un sistema de protección contra incendios.
14. Instalación de un sistema de malla de tierras y pararrayos.
15. Aislamiento térmico de todos los equipos y tuberías que lo requieran, de acuerdo a las temperaturas que manejan los distintos fluidos del proceso, tanto por ahorro de energía, como por protección a los trabajadores.
16. Se garantizará el sistema adecuado de colores de equipos y tuberías y el de señales con el fin de evitar accidentes.
17. Los residuos sólidos generados en todo el complejo como basura, recipientes, cubiertas, embalajes de materias primas y residuales de oficinas (papeles y cartón), serán recogidos, clasificados y se dispondrán fuera de la planta. Se conveniará con la empresa recicladora de materias primas los residuales sólidos con valor comercial.

La empresa azucarera + derivados genera múltiples efluentes líquidos, gaseosos y co-productos sólidos los cuales serán tratados o dispuestos de forma diferenciada.

DESCRIPCIÓN TECNOLÓGICA Y CARACTERÍSTICAS DE LOS RESIDUALES INDUSTRIALES

En el complejo industrial se generan residuos sólidos, líquidos y gaseosos. En este trabajo, los residuos han sido analizados teniendo en cuenta los conceptos de Producción Más Limpia (uso, reúso, reciclaje y tratamiento). Se consideraron la segregación de todos los flujos que deben tener un tratamiento diferenciado y la unión de aquellas corrientes con características contaminantes que posibiliten un único tratamiento.

La empresa está dividida en la planta procesadora de caña y en la destilería, y a los efectos de este trabajo se considera la bioeléctrica.

Unidad: Planta Procesadora de Caña

Área Recepción y Preparación de Caña.

Área Planta Moledora.

Área Purificación

Área Concentración del jugo.

Área Planta producción de Miel Invertida (HTM).

Unidad: Destilería

Área Fermentación.

Área Destilación.

Área Deshidratación.

Unidad: Bioeléctrica.

Área energética.

Área de Recepción, Manipulación
y Almacenamiento de Biomasa.

Servicios auxiliares

Sistema de suministro de agua, planta de tratamiento de agua y protección contra incendios.

Taller y bases de operaciones.

Laboratorios.

Cocina – Comedor – Cafetería.

Servicios sanitarios.

Emisiones

Los focos de contaminación de contaminantes atmosféricos son el transporte interno y externo de la empresa. La combustión incompleta desde el transporte de la caña de azúcar y otros insumos desde las fuentes móviles relacionadas con la transportación desde y hacia las instalaciones del ingenio. Los contaminantes son los relacionados con emisiones de combustiones incompletas producidas por el transporte dentro y fuera de la empresa. Los más

importantes son los óxidos de nitrógeno ($\text{NO}_2 + \text{NO}$), el polvo PM-5 y PM-10 y el bagacillo procedentes de los procesos de producción fundamentalmente en la casa de bagazo y de calderas.

La generación de energía eléctrica genera expulsión de dióxido de carbono y partículas de hollín. Los vertidos de grasas y aceites se generan en el proceso industrial y pasan por las trampas de grasas.

Residuales líquidos

Se generan corrientes residuales debido a los procesos productivos que se descargan a zanjas que se unen en un punto y de ahí pasan al sistema de tratamiento que consta de dos lagunas de oxidación.

El sistema de tratamiento de residuales actual está compuesto por las siguientes áreas:

1. Sistema de zanjas.
2. Trampas de grasa.
3. Separador de sólidos.
4. Conductoras de residuales.
5. Lagunas de tratamiento de residuales.
6. Vaso de riego.
7. Sistema de riego.

Los residuales líquidos de la fábrica son evacuados mediante un sistema de canales llamados zanjas y conductoras subterráneas, el cual se diseña de acuerdo a las características y disposición de los equipos en dicha fábrica. Actualmente no se separan las aguas de desecho fabriles de los albañales. Este sistema finaliza en las trampas de grasa, las cuales tienen la función de separar las grasas del resto de la corriente de residual. Del sistema de lagunas pasa a una laguna de más capacidad llamada vaso de riego para ser utilizada en el fertiriego.

Vertidos: las trampas de grasas y sólidos no funcionan correctamente por lo que el agua residual integral llega a las lagunas de oxidación con una alta concentración de sólidos y grasas en forma de bagacillo, de cachaza y grasas del equipamiento industrial. Posteriormente los residuales pasan por la conductora hacia los separadores de sólidos, los cuales tienen la función de separar bagazo y otros tipos de sólidos de la corriente residual. Actualmente, este residual se une en un punto con las vinazas de la UEB Derivados, pasan a través de un sedimentador y de ahí éste pasa al sistema de tratamiento compuesto por tres lagunas revestida con geomembranas y posteriormente pasa al vaso de riego para ser utilizado en el fertiriego.

Debido al incremento previsto en la capacidad del ingenio, la destilería y la bioeléctrica, esta propuesta plantea segregar los residuales del ingenio al de la destilería. Utilizar el actual sistema de lagunas para el ingenio y construir un nuevo sistema de lagunas para la destilería.

Residual líquido: las características físico-químico del residual integral del ingenio y de las lagunas de oxidación desde el punto de contaminación ambiental se muestran en la tabla 1. Esta caracterización coincide en sus valores promedios con los reportados en [1].

Tabla 1. Caracterización de la salida integral (de los residuales del ingenio y la destilería y la segunda laguna de oxidación de la empresa azucarera desde el punto de vista de contaminación ambiental

Ensayo (Unidad)	Laguna 1	Laguna 2
DQO (mg.L^{-1})		
Prom	15485	6474
DE	8071	3354
CV	52	52
DBO (mg.L^{-1})		
Prom	5043	3797
DE	2690	1804
CV	53	48
pH		
Prom	4,49	4,54
DE	0,02	0,11
CV	0,45	2,42
CE (mS.cm^{-1})		
Prom	5,56	5,05
DE	1,47	0,51
CV	26	10
Nt (mg.L^{-1})		
Prom	20	29
DE	18	11
CV	92	39
Pt (mg.L^{-1})		
Prom	61	45
DE	44	25
CV	72	56

CE: conductividad eléctrica. Se colocan el promedio, desviación estándar (DE) y el coeficiente de variación (CV) de tres muestras puntuales..

Se puede observar que el residual integral o entrada de la primera laguna posee una DQO elevada del orden de los 15485 mg.L^{-1} , tomando en cuenta que la DQO promedio de un ingenio con una política adecuada de uso y reuso del agua es de aproximadamente de $2000\text{-}5000 \text{ mg.L}^{-1}$, por lo que se evidencia que contiene altos contenidos de materia orgánica como azúcares no recuperados, cachaza, bagacillo y grasas y aceites del residual azucarero y los contaminantes orgánicos de las vinazas de la destilería. La relación de DBO/DQO en promedio de las muestras analizadas fue de 0,33, indicando que aproximadamente el 33 % de la materia orgánica

es biodegradable, posiblemente por la presencia de azúcares no recuperados durante el proceso industrial y el resto en mayor proporción debe estar compuesto fundamentalmente por material sólido poco biodegradable como cachaza y bagacillo y otros compuestos recalcitrantes de las vinazas de la destilería. Las concentraciones de nitrógeno y fósforo de las muestras analizadas son bajas características propias del tipo de residual.

El pH de las muestras analizadas fueron ligeramente ácidos debido a la descomposición de la materia orgánica que produce ácidos grasos volátiles. La conductividad eléctrica de las muestras analizadas son elevadas debido posiblemente a la presencia de altos contenidos de iones inorgánicos como potasio y sulfatos provenientes de las vinazas de la destilería.

El % de remoción de la materia orgánica del sistema de tratamiento basado en las dos lagunas de oxidación en base a la DQO es solo el 58 %, y en base a la DBO es del 25 %, lo que indica que no se degradan apropiadamente toda la materia orgánica biodegradable por un mal funcionamiento de las lagunas.

La entidad cuenta con un sistema de tratamiento donde todos los residuales que salen de la industria se unen a los de la destilería a través de tuberías que se encuentran en buen estado y estos son controlados por registros durante todo su recorrido hasta el sistema de lagunas de oxidación, que están impermeabilizadas.

Residuos sólidos

Se generan vertidos accidentales de cachaza y de bagazo en el proceso que pasan al residual líquido que no son retenidos adecuadamente en las trampas de sólidos, por lo que el residual llega a las lagunas de oxidación con un contenido de estos materiales. La cachaza obtenida en el proceso industrial recibe un tratamiento que permite obtener compost que se utiliza como biofertilizante de la propia caña de azúcar o se vende a productores agrícolas de la localidad.

La situación actual que presentan los residuales es:

- Alto volumen de residuales.
- No se desagregan.
- Alto volumen de sólidos (bagazo, cachaza y arena proveniente de la cal).
- El traslado de residuales es a través de zanjas.
- Las lagunas contienen alto nivel de sólidos.

La arena que se vierte al sistema de residuales proviene de la calera y de la planta de agua. En la calera existe un desarenador, no así en la planta de agua. El bagazo que se incorpora en los residuales proviene fundamentalmente de la planta moledora y la cachaza de las extracciones que se hacen a los clarificadores y derrames del cachazón y filtros.

RESIDUALES GENERADOS

Ingenio azucarero

Suministro de caña, molinos y extracción

Las aguas residuales de estas áreas arrastran residuos procedentes de la molida o sea extracción del jugo de la caña, y posibles residuales de la lubricación del equipamiento procedente de las chumaceras de los molinos. Son aguas contaminadas con contenido de fuel oil, grasas lubricantes y pequeñas cantidades de sacarosa que escurren y se convierten en aguas residuales.

Estas aguas son dispuestas a una zanja tapada con rejillas metálicas y se conduce al sistema de tratamiento a través de una trampa de grasas y sólidos. Posteriormente, las aguas residuales se incorporan al sistema de zanjas hasta el receptor de la laguna de oxidación y posteriormente al vaso para el sistema de fertirriego.

La trampa realiza la separación bajo el principio de la diferencia de pesos específicos entre el agua, sólidos en suspensión y las grasas, quedando las mismas en la superficie lo cual facilita su extracción por medio manual a través de un orificio que posee la misma en la parte superior. La trampa se construye con bloques de concreto, la parte superior quedará 0,15 m sobre el nivel del piso para evitar que el agua superficial entre a ella, y posee dos cámaras, la cámara receptora será 2/3 del volumen total de la trampa y se comunica con la que entrega por medio de una sifa que deja pasar sólo el líquido, quedando la grasa atrapada en la cámara receptora que es la que posee el orificio en la parte superior para extraer las grasas por medios mecánicos. Los sólidos sedimentables se depositarán en el fondo de estas trampas, las cuales deberán limpiarse con la frecuencia que demanden en cada caso. Los sólidos y las grasas recolectados en las trampas serán quemados en las calderas.

La tubería de salida de la trampa continúa con el efluente por el sistema de zanjas y que se unirá con el caudal del residual líquido de la bioeléctrica para luego ser conducido a la laguna. En este punto se instalará un medidor de flujo y un muestreador.

Clarificación del guarapo

Las aguas residuales que se originan son procedentes de la limpieza de los tanques de alcalización, jugo mezclado y las procedentes de los clarificadores. Contienen jugos azucarados, tierra y cachaza, por lo que son sumamente agresivas y deben ser dispuestas al sistema de tratamiento.

Filtros rotatorios

En esta área se produce un residual sólido o cachaza de alto poder contaminante, que será dispuesto en tolvas para su disposición en el suelo

como mejoramiento del mismo o mediante su uso como compost. El Central dispone de una cachacera para recepcionar el sobrante de cachaza y de otras materias separadas en esta operación. Debe evitarse que la cachaza que cae al suelo al vaciar la cachacera sea vertida en la zanja y mezclada con el residual líquido, lo cual incrementa el contenido de sólidos en el residual y la disminución de la eficiencia de la laguna. A la cachaza vertida en el suelo se le adicionará bagazo y se retirará como residuo sólido para el área de compost.

Área de evaporación

En la evaporación se elimina agua en forma de vapor y posteriormente esta se condensa, dichos condensados en ocasiones llevan consigo arrastres de azúcar, lo que representa una contaminación, por la demanda bioquímica de oxígeno. También se desechan aguas residuales producto del lavado de los evaporadores y calentadores, en los cuales se utilizan ácido clorhídrico y sosa cáustica para su limpieza.

La sosa cáustica producto de la limpieza una vez agotada debe ser enviada junto con sus enjuagues al enfriadero para aumentar el pH del mismo.

La corriente ácida tiene que ser almacenada en un tanque colector del cual se dosifica al sistema de tratamiento para controlar un valor de pH adecuado.

Proceso de cristalización

En esta división compuesta de tachos y cristalizadores fundamentalmente, se obtienen las aguas de los condensados del vapor que se generan al evaporar el jarabe en los tachos. Generalmente tiene un bajo contenido de DBO y representa un volumen elevado.

Área de centrifugas

Las aguas residuales procedentes de la limpieza de la centrifuga son reutilizadas dentro del proceso por su contenido de azúcares.

Área de envase de azúcar y azúcar a granel

En esta área no deben producirse residuales líquidos, y los derrames de azúcar producidos de forma esporádica deben ser colectados con palas, por lo que no se considera un residual. El residual líquido que se produce por la limpieza del área será conducido al sistema de tratamiento.

Divisiones que ayudan a la producción

- Enfriadero. Se produce una corriente residual producto de la extracción del fondo que se produce excepcionalmente durante la zafra, que se enviará al sistema de tratamiento en forma dosificada, no liquidando el enfriadero de una sola vez.
- Planta de generación de vapor y planta de tratamiento de agua. Las aguas residuales procedentes de las extracciones de calderas y de las plantas de tratamiento de aguas industriales, por el contenido

de cargas orgánicas se recomienda su disposición hacia la red de drenaje de dilución.

- Área de preparación de la lechada de cal. Produce una corriente residual con alto contenido de cal, esta corriente se dirige a las zanjas que la conduce al sistema de tratamiento. Existe un desarenador en esta área para tratar la cal que va al proceso, operación que debe mejorarse mediante el uso de hidrociclones.
- Condensados sobrantes. Los condensados del proceso, son recolectados y dispuestos para su máxima reutilización en el proceso de fabricación, tales como: agua de reposición en las calderas, agua de imbibición, para diluir las mieles, la limpieza y el lavado de centrifugas, filtros evaporadores, calentadores. A pesar de estos usos existen sobrantes, que se recomienda disponerlos como agua de reposición al enfriadero para los condensadores.

Otras divisiones que vierten al alcantarillado

- Comedor. Produce corrientes que contienen grasas, detergentes, son conducidas a través de una trampa de grasa por el sistema de zanjas y canales al sistema de tratamiento.
- Servicios sanitarios. Producen corrientes contaminadas y su vertimiento es al sistema albañal. Debe ser una corriente segregada a los efluentes industriales.
- Laboratorio. Produce una corriente residual de bajo poder contaminante que contiene residuos del fregado de la cristalería, miel, guarapo, producto del sistema del central y se vierte al sistema de tratamiento.

Destilería

La destilería tiene capacidad actual de producción de 500 HI/d de etanol pero se prevé su ampliación a 1000 HI/d en el 2030, con un régimen de producción de 296 días de operación promedio y con un porcentaje alcohólico promedio de 6 %. Se estimará un volumen de vinaza de 1600 HI/d y un volumen total de 1700 HI/d.

El esquema tecnológico de la destilería está previsto para trabajar con mieles y jugos de los filtros. Esta producción se efectúa mediante unidades de proceso básicas:

- Propagación industrial de la levadura.
- Fermentación alcohólica.
- Recuperación de levadura.
- Destilación.

Como abastos reciben mieles (y/o jugos) y sales nutrientes y como utilidades, suministro de agua, vapor y electricidad que hacen posible el funcionamiento de toda la instalación, incluidos el sistema de tratamiento de residuales y el almacenamiento de insumos y producción.

La batición va despojándose del alcohol en la columna de destilación hasta que sale por el fondo ya en forma de mostos (vinaza), residuo más significativo por su agresividad y volumen a manejar (tabla 2), para los intercambiadores, o la zanja que lo lleva a las lagunas de oxidación.

Otros efluentes líquidos

En una destilería, otras fuentes de corrientes líquidas la constituyen:

- Lavado de fermentadores.
- Aguas de limpieza en general.

Tabla 2. Caracterización de la vinaza de la destilería desde el punto de vista de contaminación ambiental

Ensayo (Unidad)	Vinaza
DQO (mg.L ⁻¹)	56049
DBO (mg.L ⁻¹)	23077
pH	4,19
CE (mS.cm ⁻¹)	13,39
Ca (mg.L ⁻¹)	169
K (mg.L ⁻¹)	3850
Na (mg.L ⁻¹)	210
Sólidos Totales (mg.L ⁻¹)	53235
Sólidos Totales Disueltos (mg.L ⁻¹)	50975
Sólidos Totales Suspendidos (mg.L ⁻¹)	2260
Sólidos Totales Fijos (mg.L ⁻¹)	20490
Sólidos Totales Volátiles (mg.L ⁻¹)	32745
Índice de Agua Residual (m ³ /hl)	1,4

De acuerdo al caudal y concentración de estas corrientes así será el nivel de dilución del mosto. Los mostos residuales, en condiciones cubanas, varían de 1,4 – 1,6 m³/hl de alcohol producido, mientras que las aguas de lavado de fermentadores se encuentran entre 2,5 a 5% de esta cantidad.

La tabla 3 muestra los índices promedios para la destilería. Se observa que las aguas procedentes de la limpieza de los fermentadores y tanques de crema presentan una DBO de 44 kg/m³ y al mezclarse con los mostos o residuales procedentes del área de destilación produce residuales líquidos combinados cuya DBO es aproximadamente 24 kg/m³, con índice de 1,6 m³/hl alcohol.

Tabla 3. Origen de las aguas residuales en la destilería

Clasificación	Volumen (m ³ /hl)	DBO (kg/m ³)	Carga Orgánica (kg DBO/hl)
Vinaza	1,6	23	32,2
Limpieza de fermentadores	0,1	44	4,4
Residuales Combinados	1,7	24	24,2

La vinaza constituye un residual líquido muy agresivo por el alto contenido de materia orgánica biodegradable generada en el área de destilación.

La vinaza se unirá al resto de los efluentes líquidos de la destilería y se mantendrá segregada de los residuales del ingenio para facilitar la depuración de las aguas.

Aceite fusel (fusel oil): Líquido que se genera en la columna rectificadora en el área de destilación. Dependiendo de la calidad del mosto fermentado la retirada de aceite fusel varía entre 1 a 2 litros por m³ de etanol producido. Está formado fundamentalmente de alcoholes superiores que se concentran en la columna destiladora por su baja miscibilidad en agua y alcohol. Su composición es la siguiente:

Etanol.....10 a 14 %
 Iso-amílico.....45 a 60 %
 n-propanol.....1 a 2 %
 Iso-butanol.....6 a 8 %

El aceite fusel se unirá con la vinaza para ser tratado junto a ella o se separará para darle mayor valor de uso.

Condensados: agua generada por la condensación del vapor en el sistema de destilación y deshidratación. Esta agua es recolectada en un tanque de almacenamiento de condensados y enviada a la planta de generación de vapor (calderas). La destilería mantiene su caldera independiente a pesar de la bioeléctrica.

Agua de limpieza de los pisos de la destilería (F=4,8 m³/d, DQO= 0,01 kg/ m³), se une al residual combinado de la destilería y se canaliza junto al sistema de tratamiento.

Resumen de efluentes destilería

No	Corriente residual	Flujo	Destino
1	Crema de Levadura <i>Saccharomyces</i>	8 t/d	Esta crema se vende a los productores de la zona como alimento animal después de pasar por un tratamiento de termólisis y lavado para matar la levadura y eliminar los restos de etanol de la corriente.
2	Flemaza (área de destilación)	20 L/d	Puede recircularse a la columna de destilación para el lavado de los fermentadores o como agua de imbibición en los molinos. Se mezcla con la vinaza y se conduce a la laguna de oxidación.
3	Vinaza	700 m³/d (actual) 1600 m³/d (2024)	La vinaza se unirá al resto de los residuales de la destilería y se enviará segregada a los residuales del ingenio.
4	Aceite fusel	1,4 m³/d	El aceite fusel se unirá con la vinaza para el tratamiento.
5	Agua generada por la condensación del vapor en el sistema de destilación y deshidratación	62,4 t/h	Esta agua será recolectada en un tanque de almacenamiento de condensados y enviada a la planta de generación de vapor.
6	Flemaza del lavado de los fermentadores: efluente resultante del lavado de los equipos en el área de fermentación	10 m³/d	Esta corriente se enviará hacia la conductora de drenaje industrial de la destilería y posteriormente a la Planta de Tratamiento de Residuales.
7	Agua de limpieza de los pisos de la destilería	5 m³/d	Esta corriente se enviará hacia la conductora de drenaje industrial de la destilería y posteriormente a la Planta de Tratamiento de Residuales.

Flujo total de efluentes de la destilería: 1616 m³/d ≈ 70 m³/h

Se ha determinado, que no hay respuestas sencillas para una solución técnica y económicamente adecuada en el tratamiento de la vinaza y puede repercutir en la viabilidad de la UEB debido a las regulaciones ambientales exigentes y el inicio de políticas de penalización con empresas incumplidoras de las regulaciones. Minimizar los volúmenes y la agresividad de este residual podría ser el primer paso. A continuación, algunas de las consideraciones a tener en cuenta:

1. Realizar las inversiones necesarias para lograr la recuperación de la levadura.
2. Lograr mayores rendimientos en la fermentación alcohólica evitando altas concentraciones de materia prima en los residuos líquidos. Esto puede cambiarse mediante la introducción de la fermentación semicontinua o mediante un control más eficiente del proceso discontinuo. Se debe tener en cuenta que la calidad del residual es el más fiel reflejo de la eficiencia del proceso.
3. Programar adecuadamente los períodos de limpieza.
4. Utilizar los fondajes de tanques de crema directamente para alimentación animal.
5. Utilizar el menor volumen de agua posible en la limpieza de equipos y locales.

6. Enfriamiento del mosto y recuperación de energía.

Así el sistema de tratamiento será menos costoso y el efluente final tendrá mayor calidad, lo cual repercute en la economía de la fábrica.

Bioeléctrica

La instalación de una Planta Bioeléctrica, cuya materia prima sea la biomasa procedente de la caña de azúcar y de la biomasa forestal tiene el objetivo de abastecer de energía eléctrica a la unidad azucarera y a la destilería, entregando el resto al Sistema Electroenergético Nacional (SEN) y operando fuera de la época de zafra con biomasa acumulada para una mayor entrega de energía al SEN. Para lo cual se proponen dos variantes:

1. Utilización de la biomasa cañera (Bagazo + RAC) propia del Ingenio.
2. Biomasa cañera propia del ingenio + biomasa cañera tributada de otros ingenios de la Provincia de Matanzas + biomasa forestal.

La planta Bioeléctrica es una unidad generadora de tipo convencional, que operará como una planta de cogeneración, a partir de la entrega por parte del

Tabla 4. Efluentes estimados de la bioeléctrica

No	Corriente residual	Flujo	Característica	Destino
1	Drenaje de residuales de torre de enfriamiento	Capacidad media en zafra: 6,1 m³/h Capacidad media fuera de zafra: 24,8 m³/h	Iones de sal ≤20000~40000mg/l DQO≤100mg/l SS<500 mg/L Descarga discontinua 2 veces al día	Canalizar hacia la piscina de químicos y analizar la posibilidad de incorporarlas a la formulación de alimento animal. Flujo: 10 – 30 m³/h
2	Drenaje de agua de planta de tratamiento de agua química	Capacidad media en zafra: 3,7 m³/h Capacidad media fuera de zafra: 7,4 m³/h	Iones de sal ≤20000mg/l DQO≤30mg/l SS<80 mg/L	
3	Agua concentrada de ósmosis inversa	Caudal máximo: 89 m³/h Caudal promedio en el período de zafra: 3,7 m³/h Caudal promedio en el período fuera de zafra: 7,4 m³/h	Iones de sal ≤20000mg/l DQO≤30mg/l SS<80 mg/L Descarga discontinua 2 veces al día	Canalizar hasta el punto de unión de los residuales del ingenio y conducir juntos hasta laguna de estabilización Flujo máx.: 300 m³/h
4	Drenaje de piscina de neutralización	Capacidad máxima: 40 m³/h Capacidad media: 0,33 m³/h	pH=6~9 Descarga discontinua una vez cada 5 días	
5	Aguas residuales servidas	Capacidad media: 0,1 m³/h	DBO= 50~200mg/l DQO=100~300mg/l SS=150~200mg/l	
6	Agua de limpieza química de la caldera	150 m³/vez	pF=9~10 SS<1000 mg/L Descarga discontinua 1 vez cada 3 años	
7	Purificador de agua retrolavado aguas residuales	Capacidad media en zafra: 3,3 m³/h Capacidad media fuera de zafra: 6,9m³/h	SS<5000~10000 mg/L	
8	Drenaje de desbordamiento de estanque de ceniza	Capacidad media en zafra: 6,03 m³/h Capacidad media fuera de zafra: 4,61 m³/h	PH=2~6 SS:500~3000mg/l	Es el agua pluvial que fluye del patio de almacenamiento, como se contamina debe unirse al residual del ingenio para su tratamiento.
9	Lixiviados de vertedero de patio de bagazo		DQO:5100~8000mg/l DBO:4500~6000mg/l SS:1700~1900mg/l pH=4.7~5.7	

Flujo total de efluentes de la bioeléctrica: 39 - 66 m³/h en dependencia si es época de zafra o no zafra, con aproximadamente 10 g/l de iones de sal, notar que los efluentes recurrentes de la bioelectrica son descargas discontinuas 2 veces al día.

ingenio de todo el bagazo producido y del condensado puro procedente de los equipos de transferencia de calor del Central, mientras que ella suministrará a la fábrica de azúcar el vapor de baja presión necesario procedente de sus turbinas para el proceso de elaboración de azúcar y la electricidad necesaria para elaborar su producción.

Los efluentes de la Bioeléctrica se estiman como muestra la tabla 4.

El drenaje del área de la planta utiliza un sistema separado de agua de lluvia, aguas residuales servidas y aguas residuales de producción, dividido en sistema de drenaje de aguas pluviales, sistema de drenaje de aguas residuales servidas y sistema de drenaje de aguas residuales de producción en fábrica.

Las aguas residuales de producción se dividen en aguas residuales recurrentes y no recurrentes. Las aguas residuales recurrentes se refieren principalmente a la descarga continua o intermitente de aguas residuales durante la producción normal, incluido el drenaje de la caldera, el drenaje de agua de planta de tratamiento de agua química, el drenaje del sistema de agua de circulación y el drenaje de estación de purificación. Las aguas residuales no recurrentes se refieren principalmente a la descarga temporal de aguas residuales de la limpieza química de la caldera, la limpieza del equipo, almacén de combustibles y el lavado del piso de la planta.

Las aguas residuales servidas en el área de la bioeléctrica, se conducen hacia tratamiento en el tanque séptico y se unen al residual doméstico del ingenio.

CONCEPCIÓN GENERAL DE LA SOLUCIÓN INTEGRAL DE RESIDUALES

Soluciones ambientales a las corrientes sólidas

Producción de compost a partir de cachaza, cenizas, bagazo

La producción de abono orgánico (compost) es una alternativa de solución al uso de los residuales contribuyendo al saneamiento ambiental y al mejoramiento del suelo con el consiguiente efecto positivo sobre los rendimientos agrícolas.

La tecnología propuesta de producción de compost considera la utilización total de la cachaza, y las cenizas, y la utilización parcial de bagazo generados en el proceso. Los sólidos se segregan en el separador de sólidos cercano al área de molinos, en el separador de sólidos que procesa el residual líquido integral antes de su tránsito por los canales que conducen al tratamiento, en el sedimentador (desarenador) de la planta de cal y en la trampa de grasa. Estos materiales serán conducidos al área mediante camiones.

El composteo se realizará mediante el método

de canteros con la utilización de un inoculante biológico y totalmente mecanizada. Los resultados han sido positivos, lográndose compost que aportan al suelo:

Materia Orgánica: > 55%

Nitrógeno: 2,5 - 3,0 %

Fósforo: 2,5 - 2,8 %

Potasio: 1,5 - 1,8 %

Trazas de Calcio, Hierro, Molibdeno, entre otros

El terreno debe ser preparado de manera que no se inunde si llueve, dando la adecuada pendiente para permitir escurrir el exceso de agua.

El área a ser seleccionada debe cumplir los siguientes requisitos:

- Proximidad a la instalación para minimizar los costos de transportación.
- Localización tomando en cuenta la dirección predominante del viento a fin de que los malos olores típicos de las primeras semanas de degradación sean empujados por el viento hacia lugares despoblados.
- Acceso fácil para la entrega del producto terminado.

La aplicación del compost puede ser en las áreas cañeras o puede venderse a pequeña y medianas empresas para su uso en otros cultivos.

Soluciones ambientales a las corrientes líquidas

La red de aguas servidas recogerá los efluentes procedentes de las edificaciones socio administrativas y laboratorios. Estos residuales albañales se recogen mediante colectores que los conducen hasta un punto que entregará al tratamiento en fosa séptica.

Se realiza la separación de los efluentes industriales de los de aguas servidas ya que las características de ambos efluentes difieren, por tanto, las aguas residuales del proceso industrial serán enviadas a un sistema de tratamiento y las aguas servidas serán procesadas en otro sistema. Para la red de aguas servidas los colectores serán de sección transversal redonda, se usará tubería de PVC de diámetro 8" con juntas de goma, en tramos de 6,0 m.

Solución de los efluentes líquidos de aguas servidas

Las aguas albañales junto con los de la cocina, comedor y cafetería pasarán por una trampa de grasa, la corriente líquida tratada se envía al sistema de las corrientes segregadas de la industria y conducida por la zanja de agua servidas a fosa séptica. En el colector principal, se instalará un sistema completo de pretratamiento mecánico compuesto por: desarenador, trampas de grasas y medidor de flujo, lo contabilizará la cantidad de residual emanado, para poder evaluar su comportamiento. Se instalarán además medidores de flujo en las zanjas princi-

pales de los objetos de obras más generadores de residuales.

Solución de los efluentes líquidos con carga orgánica contaminante

En este trabajo se proponen dos sistemas de lagunas para el posterior uso en fertirriego, una con baja concentración de demanda química de oxígeno producto de la recolección de efluentes líquidos generados en las unidades ingenio y bioeléctrica y un segundo sistema de lagunas con alta carga orgánica, producto de los efluentes líquidos generados en la destilería.

Esta alternativa permite reponer al suelo parte de la materia orgánica e inorgánica extraída con la caña de azúcar. Además, esta solución tiene un fin económico, ya que, sustituye fertilizantes y agua necesarios para los cultivos. Para aplicar esta técnica, es imprescindible tener en cuenta las características del suelo y el cultivo para definir las normas de aplicación. Así como también las regulaciones medio ambientales vigentes.

El sistema se basa en la conducción por gravedad, de las aguas residuales industriales a través de colectores diseñados para esos fines.

El sistema de residuales será un sistema separado ya que las aguas de lluvia se recogen mediante un sistema de canales independientes de los diseñados para las aguas residuales originadas por los diferentes procesos fabriles.

Solución de los efluentes líquidos de los sistemas de limpieza química (Ecu­al­izadores de ácidos y bases)

Un vez que las corrientes químicas son agotadas se envían a un tanque ecualizador junto con las corrientes de la bioeléctrica del drenaje de residuales de la torre de enfriamiento, el drenaje de agua de planta de tratamiento de agua química y el agua concentrada de la ósmosis inversa.

Los ácidos y bases agotados se mezclan hasta su neutralización. El agua se dosifica de manera paulatina al sistema de tratamiento y la sal que se deposita en el fondo es extraída y puesta a secar por autoevaporación, la misma se puede utilizar posteriormente en otro proceso o en formulaciones de pienso para alimento animal. El volumen del colector no debe ser mayor a 100 m³ y el tiempo de retención menor a un día.

Tecnología de autodepuración a través de lagunas

El sistema de tratamiento se basa en la autodepuración, a través de procesos de biodegradación anaeróbicas y aeróbicas de los componentes orgánicos provenientes del residual contaminante con elevada carga orgánica. Considerando alto contenido de compuestos orgánicos, en los efluentes azu-

careros y las condiciones ambientales que favorecen la autodepuración, se ha seleccionado desde el punto de vista técnico – económico un sistema de tratamiento facultativo consistente en una laguna de estabilización o regar el residual luego de ser homogenizado.

Las lagunas de estabilización de aguas residuales permiten la reducción de agentes patógenos sin la necesidad de la cloración y la previa clarificación en plantas convencionales de tratamiento. Este efecto se puede lograr con más de una laguna de estabilización trabajando en serie.

Se propone los siguientes sistemas de tratamiento de los residuales:

Propuesta 1: Tratar los residuales mediante el uso de laguna de estabilización, para luego ser empleados en el fertirriego de plantaciones.

Listado de equipos tecnológicos fundamentales y sus especificaciones

- Un separador de sólidos.
- Una cámara desarenadora con su rejilla de protección.
- Una trampa de grasa.
- Un tanque ecualizador.
- Dos lagunas facultativas.
- Dos registradores indicadores de flujo, rango: 5 – 40 m³/h de tipo electromagnético (para evitar contacto directo con el fluido).

Balances de materiales, características de las corrientes residuales y flujo tecnológico del sistema

Para la realización del balance de materiales de las aguas residuales en el ingenio, se consideró la información brindada por la industria y la caracterización de los residuales. En la tabla 5 se muestran los valores de flujo de residuales determinados en las zanj­as internas del central.

Tabla 5. Flujo de residuales para ser tratados en lagunas

	Flujo de residual (m³/d)
1. Residual del central a tratar en laguna	6750
2. Residual de la bioeléctrica que se une al central	1680
Total	8430

En la tabla 6 se muestra la caracterización del residual generado por la entidad en los diferentes puntos de muestreo.

En la tabla 7 se muestra resumido los resultados que se utilizan para el trabajo de diseño de las lagunas del residual final del ingenio (caudal y deman-

Tabla 6. Caracterización de los residuales en diferentes puntos de muestreo

Parámetros	Unidad de medida	Residual del Central	Residual de la destilería	Residual de la bioeléctrica
DQO (Demanda Química de Oxígeno)	mg/l	15485	56049	30,2
DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno)	mg/l	5043	23077	15
pH	-	4,63	4,20	≈ 6-8
(T °C)	°C	21,5	21,2	20,9
CE	μS/cm	1500	9200	
(T °C)	°C	21,8	21,7	21,5
Nitrógeno total	mg/l	0,26	0,37	
Fósforo	mg/l	23,4	15,5	

Tabla 7. Características del efluente del ingenio + bioeléctrica

Residual final	Caudal (m³/d)	DBO (mg/l)	Carga Orgánica (kg/d)
Efluente del ingenio + bioeléctrica	8430	4044	34090

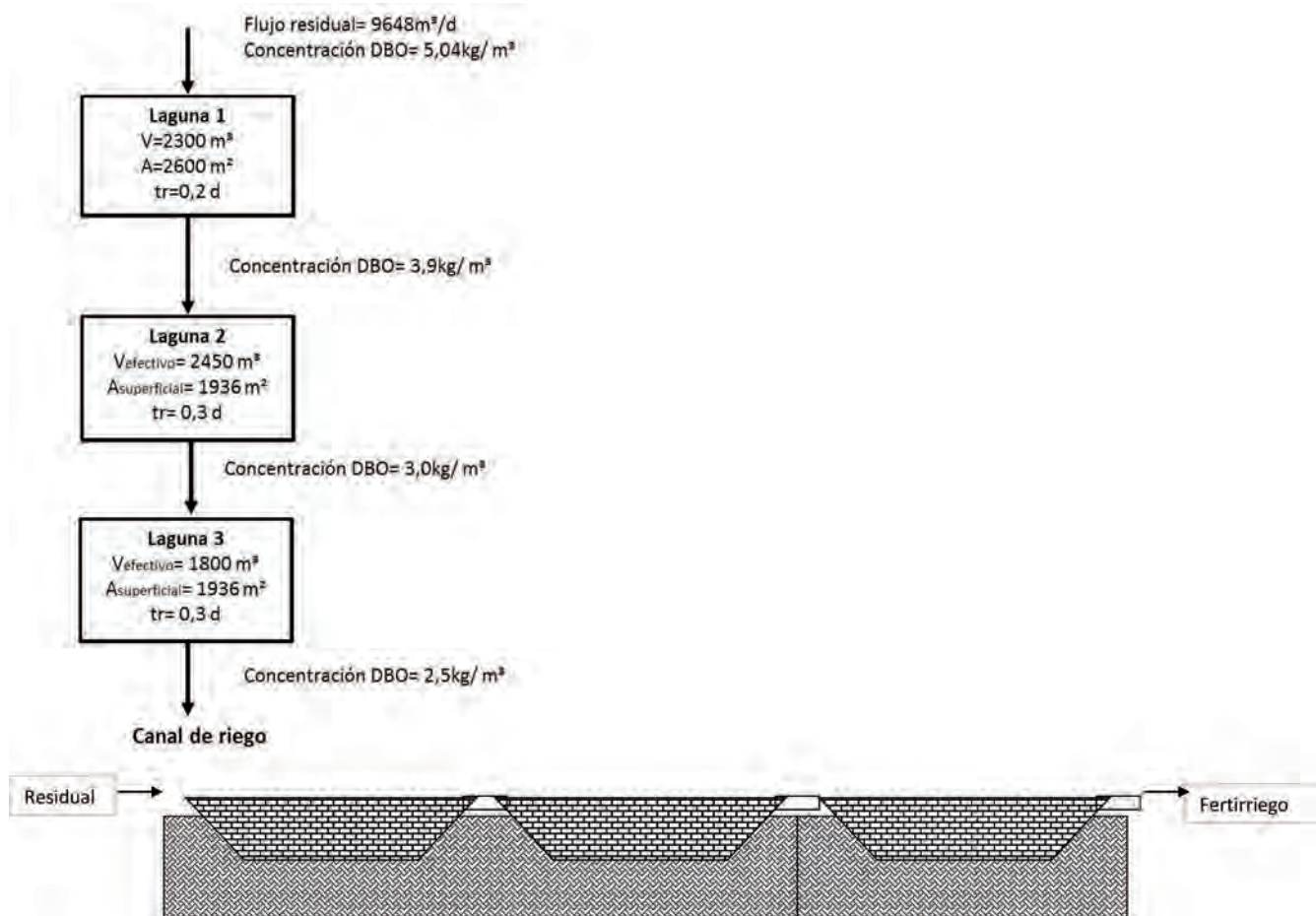


Figura 1. Diagrama del sistema de tratamiento de residuales.

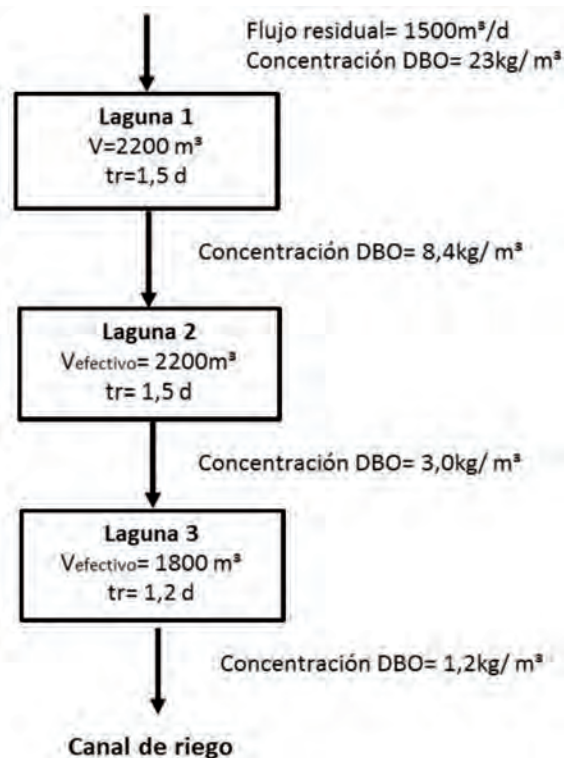
da biológica de oxígeno). En este caso se evaluó la conveniencia de mantener el actual sistema para la depuración del residual ingenio + bioeléctrica. Se utilizó metodología informada por [2].

En la tabla 8 se muestra resumido los resultados

que se utilizan para el trabajo de diseño de las lagunas del residual final de la destilería (caudal, demanda biológica de oxígeno y carga orgánica). En este caso sería necesario la construcción de un nuevo sistema de lagunas.

Tabla 8. Características del efluente de la destilería

Residual final	Caudal (m³/d)	DBO (mg/l)	Carga Orgánica (kg/d)
Efluente de la destilería	1500	23077	34615



En esta variante se dispondrá de:

Residual final	Caudal (m³/d)	DQO (kg/m³)
Efluente de las lagunas central + bioeléctrica	9600	5
Efluente de las lagunas destilería	1500	2,8

Propuesta 2: Emplear los residuales de la destilería para la producción de biogás

La proyección actual de la Industria de los Derivados de la Caña de Azúcar indica una tendencia a encontrar métodos de tratamientos que den mayor aprovechamiento a los residuales con la obtención de subproductos de mayor utilidad, tanto para la industria como para la sociedad. El tratamiento para combatir la contaminación en lo referente a la vinaza no debe ser una carga económica para la destilería sino por el contrario la vía de obtener un producto con valor comercial, cuya venta le permita un ingreso extra de los que tradicionalmente obtiene, así como una reducción de las erogaciones que por concepto de vertimiento de aguas residuales o multas se deben hacer. Las vinazas pueden ser la materia prima para otros procesos fermentativos como

la producción de biogás de manera que además de la protección del medio ambiente, se obtenga biogás que pueda ser quemado en la propia caldera de la destilería.

Biogás

El biogás tal como se genera es combustible, siendo el metano el que le da las cualidades energéticas.

Algunos resultados tecnológicos esperados son los siguientes:

- Carga contaminante de los mostos a la entrada del proceso 56 kg DQO/m³.
- Carga contaminante a la entrada del reactor 20 kg DQO/m³.
- Carga contaminante del afluente del proceso 6 kg DQO/m³.
- Eficiencia de remoción de la carga contaminante 70 %.
- Rendimiento de Biogás 0,45 NM³/kg DQOremov.
- Rendimiento de Lodo 20 kg/m³ de mosto.
- Composición del Biogás (vol,)
 - CO₂ : 38 %
 - CH₄ : 60 %
 - SH₂ : 2 %
- Características del lodo biofertilizante:
 - Nitrógeno 2,27 kg/t lodo.
 - Potasio (K₂O) 0,03 kg/t lodo.
 - Fósforo (P₂O₅) 0,10 kg/t lodo.

La vinaza sale de la columna a una temperatura de 100 °C, pH 4,3 y 52 kg/m³ de DQO. Para lograr estas condiciones se pueden utilizar los intercambiadores de calor mosto/batición, que reduciría su temperatura. Otro medio refrigerante, agua o aire, llevaría esta hasta el límite deseado. La recirculación hasta de un 40 % del líquido efluente, la mezcla con las aguas residuales del Central y el uso de cal, permitirán llegar a las condiciones de pH y concentración requeridas.

El monto de la inversión de la Planta de Biogás es de aproximadamente 3 millones, el cual incluye montaje e instalación.

Para un residual de la destilería de 1700 m³/d representan un vertimiento diario a las lagunas de cerca de 78 toneladas de materia orgánica. Si se considera 70 % de eficiencia de remoción en dicho sistema, es posible que se produzcan 24000 m³ de biogás por día. La producción de Bioelectricidad a partir del biogás producido anualmente tomando como índice de generación 1,7 kW.h/m³ genera 12000 MW.h.

El residual que sale de la planta de biogás, por su volumen y su carga orgánica pudiera unirse a la corriente residual ingenio + destilería y tratarse en el sistema de lagunas existentes. En ese caso, la concentración de la DQO de salida de la tercera laguna estaría próxima a 5 kg/m³.

En esta variante se dispondrá de:

Residual final	Caudal (m³/d)	DQO (kg/m³)
Efluente de las lagunas central + bioeléctrica + destilería	11000	4,7

Si se comparan las características de las aguas de salida del sistema de tratamiento en lagunas [3] por cualquiera de las dos propuestas con las normas cubanas de vertimiento de residuales (NC 27: 2012) se observa que se superan los límites permisibles de materias orgánicas para su vertimiento a ríos y embalses (categoría B; DQO < 90 mg/L y DBO < 40 mg/L). También se superan los límites de concentración de nitrógeno y fósforo, el pH y la conductividad eléctrica (concentración de N < 10 mg.L⁻¹; concentración de fósforo < 4 mg.L⁻¹, 6 < pH < 9 y conductividad eléctrica < 2000 µS.cm⁻¹).

La utilización de aguas residuales como agua de riego y fertilización de la caña, dado el contenido de potasio y otros nutrientes que estas poseen tiene sus antecedentes en las experiencias brasileiras con el riego de las vinazas y se rige en Cuba por la norma cubana NC 855: 2011. La aceptación de las aguas residuales en el fertirriego se determina por el cumplimiento de los parámetros reportados en la norma NC 855:2011 cuyos criterios de evaluación se presentan en la tabla 9.

En lo referente al pH los residuales de la industria, como promedio, se clasifican como “malos” a no ser que se adopten acciones correctivas para esta variable. A los efectos de fertirrigar, el DQO y DBO deben estar por debajo de los 5000 mg/l para el primer caso y 2500 mg/l para el segundo. Este parámetro es cumplido en cualquiera de las dos propuestas. Notar que debe evaluarse la relación DQO/N, que da una medida de la razón del nitrógeno con el carbono (C/N), como indicador de equilibrio del fertilizante y para evitar procesos de mineralización del nitrógeno [4].

Disposición final de los residuales

Como disposición final del efluente se propone su

uso como fertilizante en plantaciones fundamentalmente la caña de azúcar. Es importante que la fábrica cuente con posibilidades para mejorar la calidad del efluente, los cuales podrían ser aprovechados en algunos casos sólo con medidas organizativas, mientras que en otros sería necesario realizar inversiones. Tal es el caso de la programación adecuada de los períodos de limpieza y la utilización del menor volumen posible de agua en la limpieza de equipos y locales, evitar la deposición de cachaza en la zanja que aumenta la carga orgánica del efluente, la concentración de sólidos en los canales y las lagunas y disminuye el volumen útil de los sistemas de depuración, construir trampas de grasas en todas las salidas de residuales y darles mantenimiento periódico, entre otras medidas que contribuyen a un efluente de mayor calidad para su tratamiento.

Criterios sobre la puesta en marcha de las lagunas

Para la puesta en marcha de las lagunas se debe comenzar a llenarlas con agua limpia hasta alcanzar la mitad del nivel de operación con 15 días o más de anticipación antes de comenzar la zafra. Sería recomendable la introducción en la primera laguna lodo residual con el objetivo de proporcionar cierta cantidad microorganismos que inicien el tratamiento biológico.

Operación, mantenimiento y control

Las lagunas tienen requerimientos operacionales y de mantenimiento mínimo que, sin embargo, deben revisarse y cumplirse periódicamente, por el operador, con el objeto de eliminar problemas que frecuentemente se presentan en este tipo de plantas. Para el mantenimiento del sistema de tratamiento se realizan las siguientes tareas:

- Mantenimiento de las áreas verdes aledañas a las lagunas.
- Eliminación de sólidos flotantes en las lagunas.
- Limpieza de una vez por semana de la cámara desarenadora, rejilla de protección y separadores de hidrocarburos.
- Mantenimiento sistemático de los equipos de medición, así como válvulas y accesorios.

Tabla 9. Criterios de evaluación para las aguas residuales que se utilizarán en el riego

Criterios	Conductividad eléctrica (CE) mmhos/cm	Sales solubles totales (SST) mg/kg	Relación de absorción de sodio (RAS)	pH
Buena	< 1,50	< 900	< 4	6-7
Regular	1,50-1,80	960-1150	4-7	5-6 o 7-7,8
Mala	1,80-2,40	1150-1530	7-10	4-5 o 7,8-8,4
No se puede utilizar	>2,40	> 1530	>10	< 4 o > 8,4

1 mmhos/cm = 1 mS/cm.

e) Mantenimiento general al final cada zafra, reparación y limpieza.

Debe tenerse en cuenta que aunque los requerimientos de operación y mantenimiento son muy

simples, la no ejecución sistemática y correcta de las medidas de explotación y mantenimiento del sistema pueden disminuir significativamente los resultados esperados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. González M., Informe técnico "Estudio para la caracterización de residuales de la UEB Azucarera Jesús Rabí", No. 12, Empresa de aprovechamiento hidráulico, Abril de 2017, Matanzas.
 2. Menéndez, C. and M. Díaz (2009). Lagunas, diseño, operación y control. La Habana, Cuba, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría.
 3. Sáenz, R. (1992). Predicción de la Calidad del Efluente en Lagunas de Estabilización., Washington, D.C. Textos completos.
 4. ICIDCA (1982), Informe técnico. "Algunas consideraciones para la caracterización de las aguas residuales y la evaluación de los sistemas de lagunas de tratamiento en la industria azucarera".
-

Estudio y caracterización de lignina para la modificación de polímeros adhesivos

Adolfo Brown-Gómez¹, Alberto L. Chala-Bermello¹, Héctor Toribio-Cuaya², Amaury Álvarez-Delgado¹, Juan A. Leal-Alfonso¹, Milaydis Reina-Hernández¹

1. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (Icidca).
Via Banca 804 y Carretera Central. San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba.

* adolfo.brown@icidca.azcuba.cu

2. Universidad Iberoamericana (UIA). Paseo de la Reforma 880. Lomas de Santa Fe 01219, México, DF.

RESUMEN

El bagazo se presenta como uno de los derivados fundamentales de la producción azucarera. En este estudio se utiliza lignina obtenida a partir de hidrólisis alcalina (despolimerización) para la modificación de polímeros con propiedades adhesivas. Se demuestran las mejores propiedades de la lignina alcalina (LA) y la presencia sobresaliente del enlace β -O-4. Esta lignina posee un elevado contenido de -OH fenólicos, alto porcentaje de protones aromáticos, bajo peso molecular, todo lo cual incrementa sus centros activos. Ensayos como la Espectroscopía Infrarroja (FTIR), la Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) y el Análisis Termogravimétrico (TGA) han sido utilizados para caracterizar las muestras de lignina..

Palabras clave: bagazo de caña, lignina, resinas, propiedades adhesivas, tableros de partículas.

ABSTRACT

The bagasse fiber is one of the fundamental derivatives of the sugar production. In our study we use lignin obtained alkaline hydrolysis (depolymerization) for the modification of polymers with adhesive properties. Are the best properties in the alkaline lignin demonstrated (LA) and the excellent presence β -O-4 bonds. This lignin possesses a high content of -OH phenolics, high percentage of aromatic protons, of low molecular weight, all that which increases their active centers. Fourier transform Infrared Spectroscopy (FTIR), Differential Scanning Calorimetry (DSC) and Thermogravimetric Analysis (TGA) have been used for lignin characterization.

Key words: bagasse fiber, lignin, resins, adhesives properties, particleboard.

INTRODUCCIÓN

Ampliar la matriz productiva de los derivados de la industria cañera, constituye un reto muy vinculado a la actividad científica. Los estudios científicos encaminados a la conservación ambiental constituyen el fundamento para el desarrollo de las estrategias ambientales territoriales y sectoriales, de las cuales están dotados actualmente todos los sectores de la producción y los servicios que tienen un impacto o una relación significativa con el medio ambiente. La intensificación y profundización de las relaciones entre el sector dedicado a la investigación, el conocimiento científico, la innovación tecnológica, así como la protección y uso sostenible de los recursos naturales, se hace cada vez más prioritaria para enfrentar el cambio climático y los altos precios de los productos derivados de la petroquímica. En este

caso particular, se propone el uso de la lignina, un biopolímero presente en todas las plantas vasculares, que al igual que muchos otros componentes de la biomasa, se forma mediante la reacción de fotosíntesis. Está considerada como un recurso renovable asequible y de potencial uso industrial. En este caso se puede obtener de los residuos de la cosecha cañera o del pulpeo del bagazo y existen evidencias de su valor agregado y su impacto en la reducción de la demanda química de oxígeno (DQO) (1). La lignina actúa como un polímero amorfo termoendurecible en los materiales lignocelulósicos y de ahí su importancia en la formulación y modificación de adhesivos.

El inicio del empleo de resinas como encolantes orgánicos bajo ciertas condiciones de temperatura y presión en materiales fibrosos lignocelulósicos para la industria de tableros, sistemas constructivos y

muebles es bien conocido (2). Con estos descubrimientos comienza el desarrollo de resinas sintéticas muy utilizadas para la producción de materiales plásticos y elastómeros. Sus potencialidades rempazan a otras resinas de origen natural y para finales de 1940 surge la industria de tableros de partículas de madera aumentando su desarrollo sostenido en la década comprendida entre 1970-79. Cuba comienza en 1957 la producción de tableros de partículas de bagazo, destacándose en este empeño, instalaciones como MADETEC, PROCUBA, Camilo Cienfuegos, 1ro de Enero y Jesús Menéndez.

Numerosos han sido los autores dedicados a mejorar la tecnología de producción de resinas empleando derivados de la biomasa vegetal como la lignina, taninos y soluciones de formaldehído (3,4), buscando sobre todo en etapas iniciales un mejor control de la reacción exotérmica durante el proceso de síntesis, ajustar los parámetros de fusión y tiempo de curado. El estudio que a continuación se presenta contempló antecedentes que citan otras resinas comerciales estudiadas o sintetizadas en el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar ICIDCA (5,6).

Las resinas urea-formaldehído y urea-paraformaldehído (UF, UPF) son productos empleados como aglutinantes en la industria de tableros y en procesos de fundición. Sus ventajas radican en el método de síntesis empleado, el bajo costo de las materias primas y la poca demanda energética que implica su producción, además de aportar buenas propiedades físico-mecánicas, elevada estabilidad térmica y alta resistencia química. Esta condición las convierte en resinas apropiadas para ambientes secos, ya que se afectan con facilidad por la degradación hidrolítica ante la influencia del tiempo, el calor y la humedad. Son usadas como componentes de moldeo y como aditivos que otorgan resistencia. La fabricación de tableros de partículas (aglomerados) constituye hoy el mayor mercado para las resinas ureicas (3, 4 y 7). Su tiempo de vida útil generalmente no supera los 30 días debido a las condiciones climáticas de Cuba, aunque tienen la ventaja de endurecer con facilidad. En la actualidad, la planta de tableros 1ro de Enero, que pertenece al grupo azucarero (Azcuba), ha recuperado la producción de este tipo de resinas para el prensado de tableros de partículas. En la tabla 1 se muestran algunas de las propiedades que distinguen a las resina UPF.

El bagazo, copoducto de la industria azucarera cubana, es utilizado en la industria papelera cubana, genera licores negros de la producción de pulpa con un contenido de lignina nada despreciable para prestaciones muy definidas. El mecanismo de la hidrólisis alcalina de la biomasa parece estar basado en la saponificación de los enlaces ésteres intramoleculares que unen los xilanos de la hemicelulosa y otros componentes, como por ejemplo la lignina, u

Tabla 1. Propiedades generales de las resinas UPF

Propiedades	Resultados
Materia seca (%)	58 - 60
Viscosidad 20°C Φ4mm (s)	30 - 40
pH	7.5 - 8.0
Densidad (g/cm ³)	1.22 - 1.24
Tiempo de gel (s)	60 - 80
Formaldehído libre (%)	0.4 - 0.6
Tiempo de reacción (h)	6
Tiempo de almacenamiento (días)	30 - 35

otros componentes de la hemicelulosa. La efectividad de este pretratamiento depende del contenido de lignina del material a tratar. También se obtiene lignina despolimerizada cuando se adiciona una solución de NaOH al 7 % a la lignina tratada en un hidromódulo 1:10 durante 6 horas a una temperatura de 180 °C (8).

Según la definición estructural de lignina dada por Chávez (9), las ligninas tienen las siguientes características: son polímeros vegetales construidos a base de unidades de fenilpropanoides; presentan una gran parte de grupos metoxilo, son resistentes a la hidrólisis ácida, fácilmente oxidables, solubles en bisulfito o álcalis caliente, y fácilmente condensables con fenoles o tioles. Son copolímeros que se derivan principalmente de tres unidades fenilpropano-monoméricas (monolignoles) básicas: alcohol p-cumarílico, alcohol coniferílico y alcohol sinapílico. La estructura química de la lignina sugiere que podría convertirse en la principal fuente de aromáticos (9) y una excelente materia prima para la obtención de compuestos con alto valor añadido (10,11).

Se han reportado resultados con formulaciones basadas en el uso de lignina con bajo peso molecular, sustituyendo el formaldehído con un aldehído no volátil y no tóxico denominado glioxal (figura 1) (C₂H₂O₂, masa mola: 58.04 g/mol), para aplicarlos a tableros de partículas. Los adhesivos preparados han generado una buena cohesión interna de los tableros de partículas superando las especificaciones estándar internacionales para paneles de uso exterior (12).

También se pueden lograr resultados favorables a partir de la hidroximetilación, proceso que consiste en introducir grupos hidroximetilo (-CH₂OH) en el

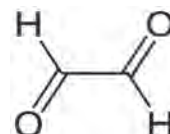


Figura 1. Estructura química del glioxal.

anillo aromático de la lignina mediante su reacción con el formaldehído. Con esta modificación se consigue aumentar la reactividad de la lignina, ya que dichos grupos son los precursores de los enlaces metilénicos y dimetil-éter responsables del entrecruzamiento de las distintas moléculas de resina entre sí. Por todo lo anterior la lignina se define como un material polifenólico, amorfo, generado por la copolimerización de tres monómeros fenil-propánicos.

Estas estructuras (9) sirven para definir el modelo básico de distintos tipos de ligninas, basándose en lo que se conoce como la fórmula C₉, correspondiente a los seis carbonos del anillo aromático y los tres de la cadena alifática. Dichas estructuras están ligadas con varios enlaces tipo éter (α -O-4, β -O-4, 4-O-5) y carbono-carbono; son muy complejas y presentan una gran heterogeneidad, la cual se explica por las variaciones en la composición de la lignina, su tamaño, frecuencia de los enlaces presentes y sus grupos funcionales. La heterogeneidad depende de la especie de la planta de la que se obtiene la lignina, el proceso de su separación del material lignocelulósico y el método empleado para su recuperación del licor negro (13).

Partiendo de sus propiedades la lignina se ha utilizado para diferentes destinos: paneles, tableros, biodispersantes, poliuretano, surfactantes, carbón activo, carbón activado (14,15). Actualmente, la tendencia para mejorar el valor añadido de este subproducto se ha extendido a diferentes áreas en los que destacan los materiales “composites” y mejoría del índice de octano en combustibles para el transporte (9,16).

La reactividad de la lignina alcalina (LA) frente a formaldehído/p-formaldehído es mucho menor que la de fenol frente a estos reactivos, debido a la menor disponibilidad de posiciones *orto* y *para* de las unidades fenil-propano, las cuales se encuentran bloqueadas por grupos metoxilos y dificultan la adición de formaldehído al anillo bencénico. En el caso de las resinas fenólicas, estudios realizados demuestran que por encima del 40 % de reemplazo de fenol por lignina disminuye la densidad de entrecruzamiento en resinas lignina-fenol-formaldehído, disminuyendo a su vez la calidad de la unión adhesiva (7,17).

El empleo de la lignina en la modificación de resinas a partir de sus unidades p-hidroxifenilpropano utilizando como fragmentos intermediarios de bajo peso molecular los lignoles, se presenta como una alternativa para potenciar sus propiedades, minimizando el impacto ambiental de los productos finales que de ellas se deriven. Temas relacionados con la fenolación (formación de un aducto) y desmetilación de la lignina para aumentar su reactividad, son tareas vinculadas a la propuesta del presente estudio (18).

La lignina depolimerizada obtenida de procesos de delignificación alcalina, pulpeo y otros, pueden sustituir una parte o todo el fenol utilizado durante

la producción de polímeros adhesivos, utilizando reacciones de polimerización o copolimerización con otros monómeros para mejorar las propiedades de desempeño de estos materiales.

Todo lo estudiado parece indicar que las ligninas con bajos pesos moleculares son las más idóneas para materiales adhesivos, ya que resultan la de mayor contenido de protones aromáticos, lo cual se traduce en centros activos en el anillo aromático de las moléculas de lignina, debido a la rotura de los enlaces α y β éteres que permite generar los hidróxilos fenólicos. La hidrólisis alcalina de las ligninas industriales genera productos reactivos útiles para la reacción de condensación en los adhesivos fenólicos. Vale resaltar que la hidrólisis alcalina de la lignina permite incorporar directamente estos productos a la modificación de resinas fenólicas. Según la reacción de Mannich, las posiciones libres C-3 y C-5 en el anillo aromático de las unidades fenilpropano de la lignina son importantes centros reactivos en la preparación de adhesivos. La ruptura de los anillos aromáticos de la lignina incrementa las entidades que poseen grupos carboxilos y en función de dichos grupos se comporta su solubilidad.

Dentro de los parámetros que definen el problema a resolver cuando se requiere preparar adhesivos basados en la lignina o donde la lignina es el componente mayoritario para los tableros de partículas y contrachapados se destacan los siguientes (19):

- El adhesivo debe presentar una gran rigidez, por lo tanto una alta densidad de entrecruzamiento en su estado curado.
- El adhesivo debe tener un curado rápido, así puede tolerar los tiempos rápidos de prensado equivalentes a los tiempos industrialmente usados.
- El adhesivo formulado debe acoplarse a los procesos existentes o demandar pocas modificaciones.

El objetivo fundamental de nuestro estudio consiste en evaluar a nivel de laboratorio, la capacidad que tiene la LA como materia prima renovable para mejorar las propiedades de las resinas ureicas, partiendo de la modificación de su estructura reutilizando sus unidades fenilpropano. Estos resultados han estado limitados por la ausencia de métodos analíticos fiables para su caracterización (18). Seguido a esto, proponer reconvertir tecnologías dentro la propia industria, tomando en consideración las ventajas que ofrecen estas resinas modificadas para realizar operaciones de sellado, aislantes, amortiguación de vibraciones y todo esto, a partir de una sola operación.

MATERIALES Y METODOS

- Determinación del porcentaje de humedad y cenizas (4) en las muestras de lignina alcalina e hidro-

lítica (LA y LH) aportadas por la UEB de Bioprocesos (8). La humedad fue medida en un equipo SARTORIUS, modelo MA-150.

- Caracterización de LA y LH para la identificación de grupos funcionales por espectroscopía infrarroja FTIR (FTIRPrestig21, Shimadzu Corp rango 4000 a 500 cm^{-1} , Accesorio ATR: SPECAC con ventana de diamante).
- Estabilidad térmica de la LA y LH. DSC (Q20 V24. 10 Build 122) y TGA (Q50 V20. 13 Build 39) TA Instruments. Muestras de LA y LH para el estudio. Rango de 30-800°C y velocidad de calentamiento 10 °C/min.

A partir de los resultados obtenidos, se define la lignina para el estudio que se propone, iniciando las caracterizaciones correspondientes.

Se realizó un estudio de la distribución de los pesos moleculares de la lignina seleccionada (LA) utilizando la cromatografía de permeación de gel (GPC) para validar su posible empleo en la modificación de adhesivos (6).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La hidrólisis de la lignina (en medio ácido o alcalino), tiende a degradar las moléculas de lignina generando nuevos grupos hidroxilos fenólicos. Bajo condiciones determinadas, la hidrólisis alcalina de la lignina genera productos reactivos útiles para la reacción de condensación en los adhesivos fenólicos. Otra ventaja que ofrece la hidrólisis alcalina para modificar las ligninas industriales deriva de la incorporación directa de estos productos hidrolizados en el proceso de síntesis de las resinas fenólicas. Esta baja reactividad hacia el formaldehído ha sido parcialmente superada con la introducción de lignina hidroximetilada en la resina fenol-formaldehído (14,15).

Reportes de estudios anteriores han demostrado que la LA de bagazo contiene 1.05 posiciones reactivas por unidades de fenil-propano, de las cuales el 63 % son fenólicas (7).

Los resultados alcanzados por FTIR se muestran en las figuras 2 y 3.

Tabla 2. Evaluación de contenido de humedad y cenizas (%) de las muestras de lignina.

Lignina	% humedad.	% cenizas
LA	4	18
LH	5.5	4

Lignina alcalina (LA)

Las señales A (3367 cm^{-1}) y B (3007 cm^{-1}) se asignan a diferentes tipos de grupo -OH; el primero se debe al grupo alcohol alifático en tanto que el segundo se debe a la quelación intramolecular entre los grupos C=O y los -H en la molécula.

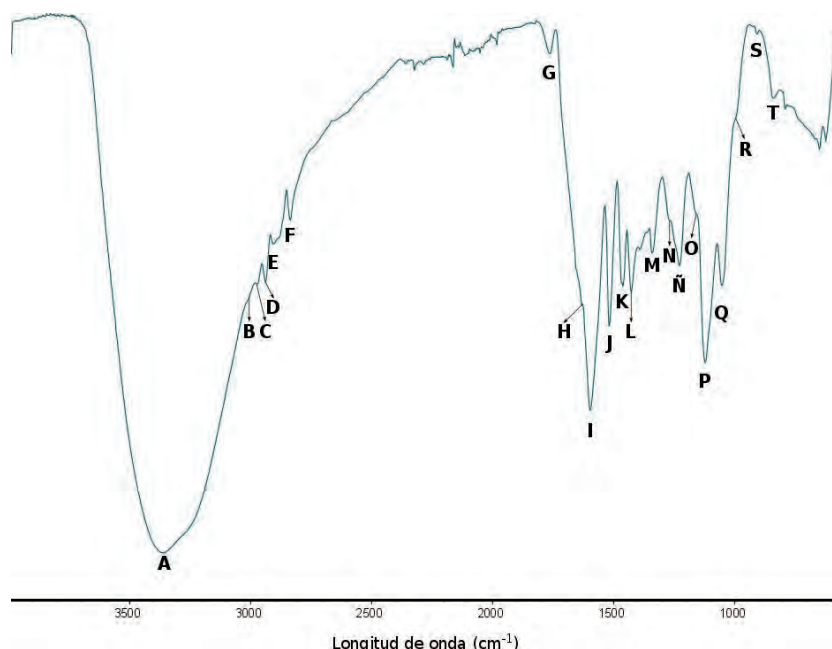


Figura 2. Espectro infrarrojo de la lignina alcalina.

Además, la señal en P (1112 cm^{-1}) confirma la presencia de alcoholes secundarios y el estiramiento del grupo C=O, también es una señal típica de las unidades S. Los grupos fenólicos originan las vibraciones H (1626 cm^{-1}) del estiramiento de los grupos aril cetonas en tanto que I (1591 cm^{-1}), J (1511 cm^{-1}) y L (1420 cm^{-1}) se originan por la vibración del esqueleto de las moléculas aromáticas y las deformaciones en el plano del grupo C-H, así también, S (895 cm^{-1}) ocurre por la flexión fuera del plano del grupo C-H en los anillos aromáticos. Los grupos metilo y metileno producen las señales C, D, E (2984, 2942, 2910 cm^{-1}) y F (2850 cm^{-1}) en conjunto con K (1455 cm^{-1}) asignada a la vibración tipo flexión de los grupos metilenos, además, R (987 cm^{-1}) se debe a la deformación fuera del plano del grupo -HC=CH-. De acuerdo a la señal O (1153 cm^{-1}) la lignina está compuesta por unidades HGS. Además, N (1262 cm^{-1}) y Ñ (1219 cm^{-1}) son vibraciones que se originan por el monómero G, mientras que, P (1112 cm^{-1}) y T (829 cm^{-1}) se deben a la presencia de S. Así, M (1333 cm^{-1}) se relaciona con la vibración entre las unidades condensadas S y G unidas en posición 5. El principal grupo funcional en esta molécula se encuentra en las señales G (1760 cm^{-1}) y Q (1043 cm^{-1}) que se asignan a grupos éster -CO-O- y el estiramiento simétrico y asimétrico de los grupos C=O del mismo.

Lignina ácida. (LH)

La lignina ácida presentó las señales A (3354 cm^{-1}) y B (3007 cm^{-1}) que se asignan a diferentes tipos de grupo —OH ; el primero se debe al grupo alcohol alifático en tanto que el segundo se debe a la quelación intramolecular entre los grupos C=O y los —H en la molécula.

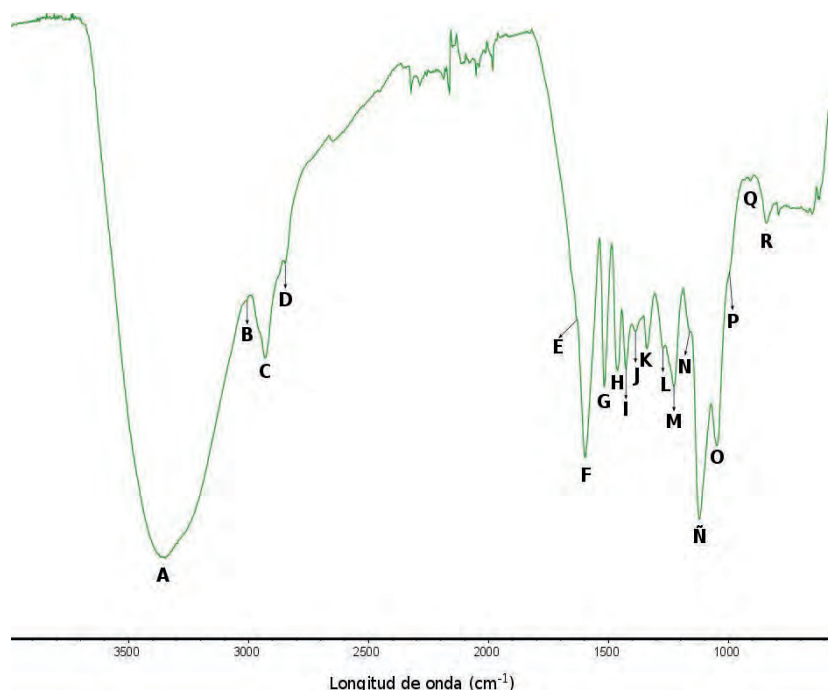


Figura 3. Espectro infrarrojo de la lignina ácida.

Además, la señal en $\tilde{\text{N}}(1112\text{ cm}^{-1})$ confirma la presencia de alcoholes secundarios y el estiramiento del grupo C=O , también es una señal típica de las unidades S. Los grupos fenólicos originan las vibraciones E (1626 cm^{-1}) del estiramiento de los grupos aril cetonas en tanto que F (1592 cm^{-1}), G (1511 cm^{-1}) y I (1420 cm^{-1}) se originan por la vibración del esqueleto de las moléculas aromáticas y las deformaciones en el plano del grupo C-H , así también, Q (897 cm^{-1}) ocurre por la flexión fuera del plano del grupo C-H en los anillos aromáticos. Los grupos metilo y metileno producen las señales C (2934 cm^{-1}) y D (2850 cm^{-1}) en conjunto con H (1455 cm^{-1}) asignadas a la vibración tipo flexión de los grupos metilenos, además, P (983 cm^{-1}) se debe a la deformación fuera del plano del grupo —HC=CH— . Asimismo, J (1381 cm^{-1}) se produce por la flexión de los grupos C-H en los grupos CH_3 alifáticos. De acuerdo a la señal N (1153 cm^{-1}) la lignina está compuesta por unidades HGS. Además, L (1267 cm^{-1}) y M (1219 cm^{-1}) son vibraciones que se originan por el monómero G, mientras que, $\tilde{\text{N}}$ (1112 cm^{-1}) y R (831 cm^{-1}) se deben a la presencia de S. Así, K (1332 cm^{-1}) se relaciona con la vibración entre las unidades condensadas S y G unidas en posición 5 y O (1038 cm^{-1}) se origina

por la deformación del grupo C-H fuera del plano en los anillos aromáticos ($\text{G} > \text{S}$) más la deformación de los grupos C-O .

El enlace más abundante en la lignina es el $\beta\text{-O-4}$, puede representar en función del tipo de biomasa entre el 45-60 %. Quedan otros enlaces en la estructura (figura 4).

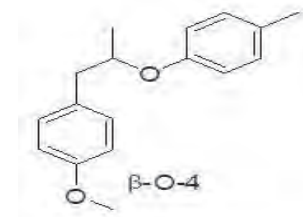


Figura 4. Espectro infrarrojo de la lignina ácida.

En las muestras de lignina estudiadas se ha identificado que en su estructura:

- prevalecen los enlaces del tipo $\beta\text{-O-4}$.
- predomina la posición *para*.
- presenta estructura heterogénea.
- las estructuras predominantes: alcohol p-cumarílico (a), alcohol coniferílico (b) y alcohol sinapílico (c) se identifican a partir de las técnicas analíticas empleadas (figura 5).

Como se mencionó, debido a la naturaleza de la composición de la lignina formada por tres unidades básicas de fenilpropano, este material se puede utilizar en las formulaciones de resinas tipo fenol-formaldehído, poliolefinas-lignina, poliésteres-lignina, poliuretanos-lignina, antioxidantes naturales y composites. A partir de estos resultados de propuso estudiar la modificación de las resinas ureicas con LA buscando potenciar el uso industrial de las mismas.

Con el objetivo de establecer los rangos de temperatura adecuados en los procesos de síntesis asociados al estudio, se analizaron los termogramas de la LA (figura 6 y 7) y LH (figura 8 y 9) por técnicas termoanalíticas avanzadas (DSC y TGA), comenzando por la LA.

Caracterización de LA por TGA-DTG

1. El primer proceso de pérdida de masa corresponde a evaporación o salida de H_2O , con una $T_{\text{max}} \sim 80\text{ }^\circ\text{C}$.
2. El segundo proceso que empieza desde $\sim 150\text{ }^\circ\text{C}$ se puede asociar con la primera etapa de degradación de la lignina ($\Delta m = 24.41\%$), y frecuentemente se asocia con el inicio del proceso despolimerización por ruptura de enlaces $\beta\text{-O-4}$. Este

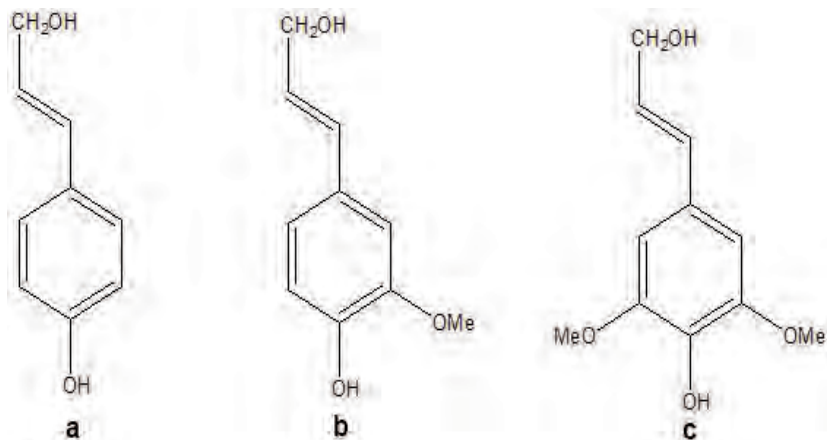


Figura 5. Estructuras predominantes en la lignina.

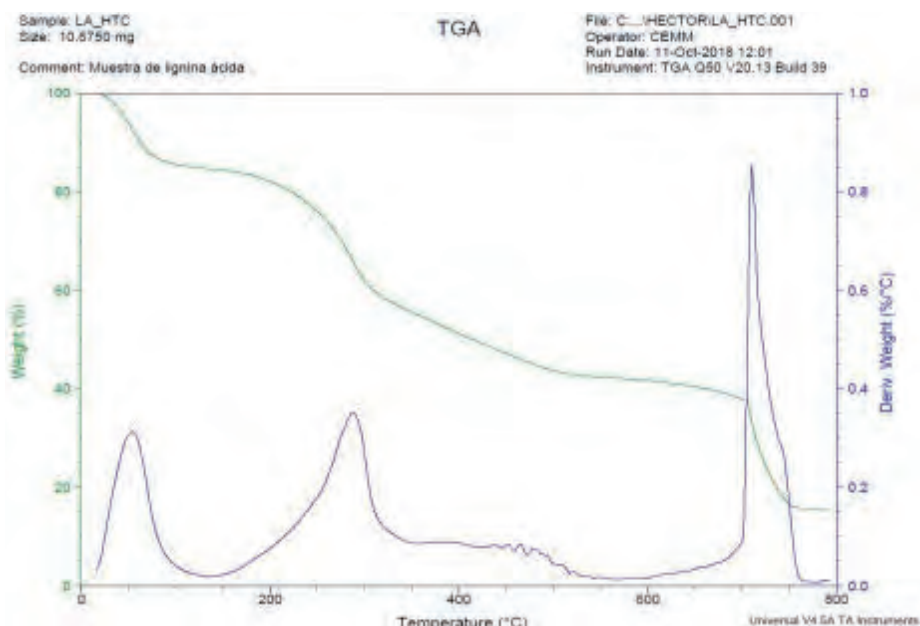


Figura 6. Caracterización de LA por TGA-DTG.

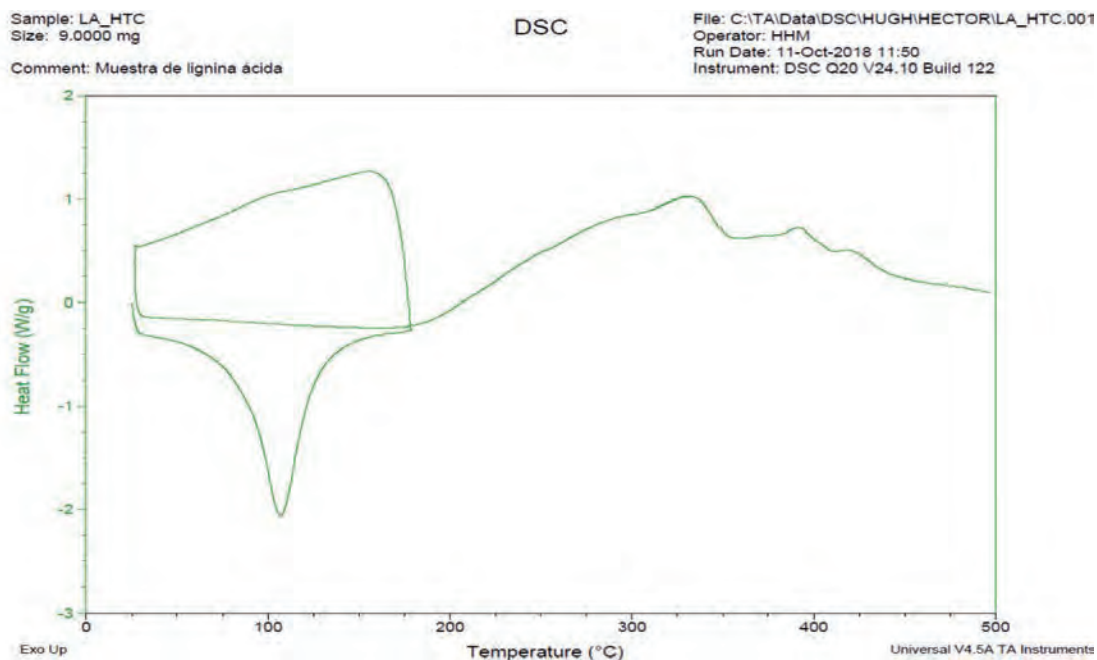


Figura 7. Caracterización de LA por DSC.

proceso promueve la formación de un bioaceite (tipo alquitrán) que se relaciona con la prolongada y suave pérdida de masa ($\Delta m = 16.59\%$), entre 300-550 °C.

- Una vez que el alquitrán se ha evaporado o descompuesto produce un residuo carbonaceo que se combustiona de forma rápida y violenta (ver las curvas TGA-DTG) a temperaturas superiores de 700 °C ($\Delta m = 22.79\%$). Este proceso de combustión ocurre de forma abrupta debido a que la presión parcial de los componentes orgánicos generados en las etapas previas decrece, facilitando la accesibilidad e interacción del comburente (O_2 del aire) con el residuo carbonoso (carbón), lo que es conocido como combustión.

Caracterización de LA por DSC

- La salida de H_2O en el DSC se ubica ~106 °C, muy probablemente debido a presión parcial que ejerce el H_2O .
- El proceso exotérmico que se manifiesta a partir de ~180°C, de forma prologada y que incluye múltiples eventos, simultáneos y superpuestos, describe el calor resultante (eventos endotérmicos como exotérmicos), asociados a la ruptura de enlaces y su recombinación química a través de reacciones consecutivas o secuenciales.

Caracterización de LH por TGA-DTG (figuras 8 y 9)

- Si bien los intervalos de temperaturas están en el mismo orden respecto a la muestra anterior, el perfil térmico es completamente diferente. La primera pérdida de masa se asocia a la salida de H_2O (~50-60 °C), lo que sugiere que es agua físisorbida.
- La segunda etapa con máximo centrado ~300°C (curva DTG), describe un proceso rápido, intenso y agudo ($\Delta m = 46.49\%$), lo que es indicativo de que la degradación ocurre de forma simultánea en sitios energéticamente equivalentes (enlaces o grupos funcionales). Este comportamiento podría sugerir un grado de ordenamiento superior a la muestra anterior.
- La etapa contigua para temperaturas superiores a 350 °C, describe un proceso más suave y prologando, con un máximo centrado ~400 °C, lo cual estaría ligado a la diversidad de fragmentos generados o liberados en la etapa previa, los cuales se degradan a través de reacciones secuenciales, hasta su degradación total para temperaturas por encima de 550 °C. El perfil térmico de DSC describe un comportamiento similar a la muestra anterior. Efecto endotérmico ~110 °C, seguido de un proceso prologando y superpuesto de liberación de energía (exotérmico), típico de reacciones simultáneas, paralelas y consecutivas. Es importante señalar que la información recabada por esta

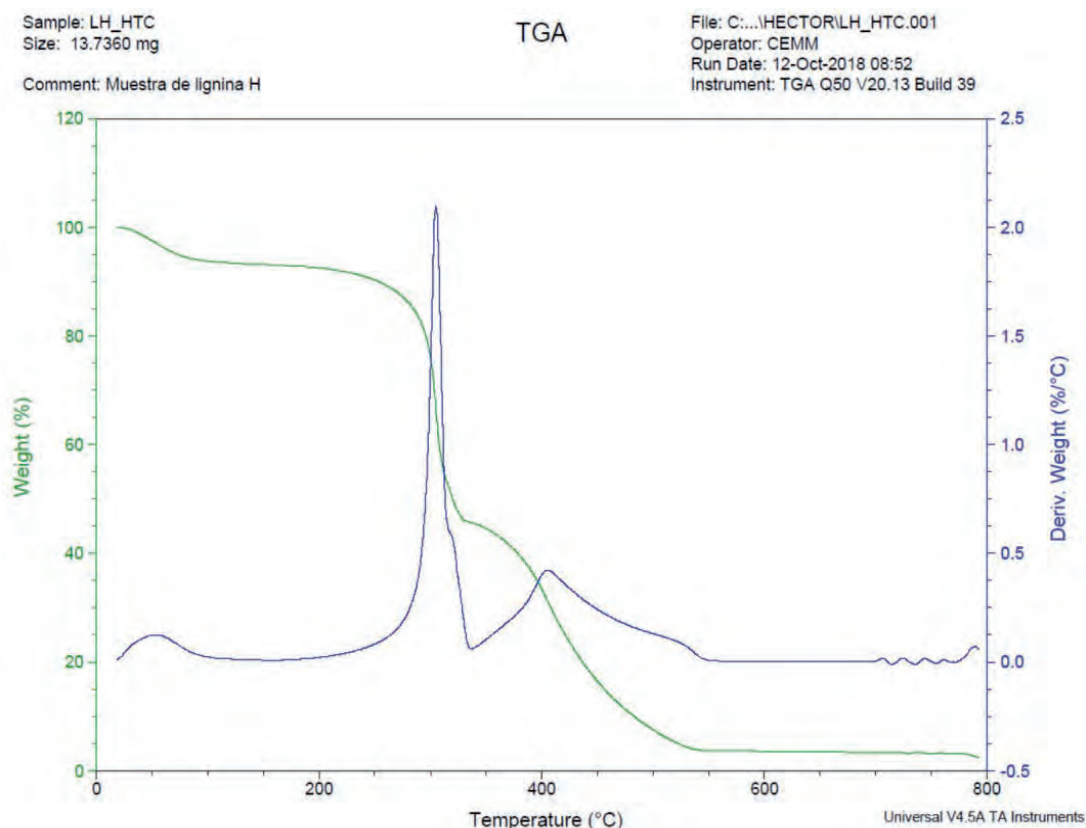


Figura 8. Caracterización de LH por TGA.

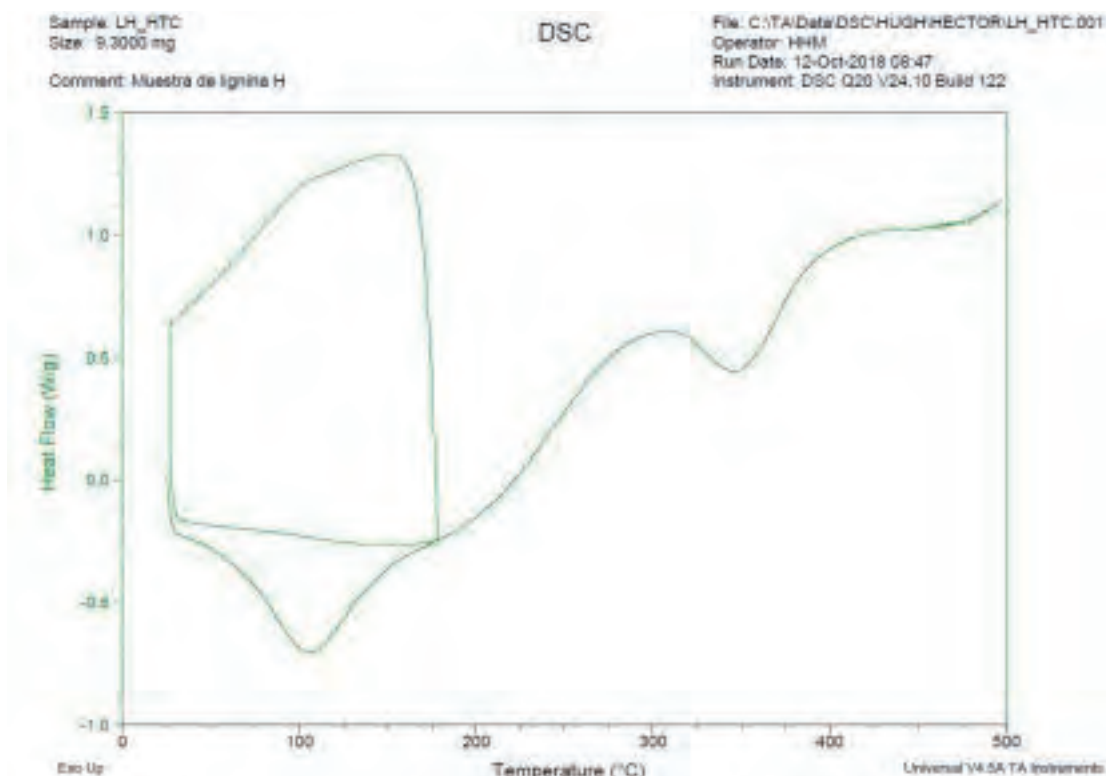


Figura 9. Caracterización de LH por DSC.

Tabla 3. Resultados de Mw, Mn, y la polidispersidad de la LA.

Tipo de lignina	Mw (g/mol)	Mn (g/mol)	Mw/Mn (g/mol)
LA	1088.7	534.2	2.0

técnica (DSC) es compleja, poco precisa y difícil de analizar, en última instancia se debe puntualizar que el calor liberado es la resultante de los procesos que ocurren (endotérmicos y exotérmicos) y que los resultados son una muestra de los procesos de recombinación química que ocurren en la fase vapor.

Los resultados alcanzados permiten asegurar que la LA obtenida posee un elevado contenido de $-OH$ fenólicos a partir de la acción del NaOH sobre los enlaces éter de la molécula de lignina. La rotura de estos enlaces libera grupos hidroxilos fenólicos favoreciendo la disolución de la lignina en medio alcalino, presentándose así un alto porcentaje de protones aromáticos, bajo peso molecular y un incremento de sus sitios activos, lo cual eleva su reactividad. La lignina sin modificar presenta un bajo contenido de los $-OH$ fenólicos y alta sustitución en su anillo aromático a partir del impedimento estérico presente en su estructura molecular.

Las ligninas deseables para las reacciones de polimerización en los adhesivos para paneles deben tener las siguientes características estructurales:

- Alto contenido de grupos hidroxilos fenólicos.
- Alto contenido de grupos hidroxilos alifáticos.
- Bajo peso molecular relativo (Mw).
- Estructuras capaces de formar los productos intermedios tipo quinones.
- Posiciones C-3 y C-5 libres, lo que se traduce en

más centros activos en el anillo aromático.

Teniendo en cuenta lo anterior, se realizó un estudio preliminar de la LA y la distribución de su peso molecular medio en peso (Mw), en número (Mn), y la polidispersidad (Mw/Mn), con el objetivo de comprobar su efectividad en la formulación de nuevos materiales polímeros con propiedades adhesivas. Los datos de bajo peso molecular Mw y Mn demuestran su alto contenido de $-OH$ fenólicos y que en medio alcalino predomina la rotura de enlaces α y β -O-4.

La baja polidispersidad indica que la LA estudiada tiene una alta fracción de bajo peso molecular, por tanto, puede emplearse en las reacciones de condensación debido a que son más reactivas (a partir de la presencia de los $-OH$ fenólicos).

La LA estudiada se presenta como un derivado sustentable de bajo costo comparado con los precios del fenol, que dependen de las fluctuaciones del precio del petróleo en el mercado mundial, lo cual la convierte en una alternativa atractiva desde el punto de vista económico y ambiental para modificar materiales poliméricos adhesivos como las resinas ureicas.

CONCLUSIONES

Se logró una eficiente identificación de los grupos funcionales de los diferentes tipos de lignina y de las etapas vinculadas a su degradación. La LA comienza su degradación a temperatura más baja que la LH, aspecto que resulta más idóneo para el objetivo propuesto (estructura menos ordenada) y el enlace predominante es el β -O-4.

La caracterización estructural de la LA y la LH

demostró que la LA presenta mayor reactividad (grupos -OH fenólicos) hacia la condensación y la subsecuente formación de puentes metilénicos, lo cual tiende a favorecer el entrecruzamiento de las distintas moléculas.

El bajo peso molecular de la LA tiene incidencias en el flujo (viscosidad) de la resina, lo cual favorece el tiempo de curado y tiene un impacto futuro en las propiedades físico mecánicas de los tableros aglomerados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Velásquez, J.; Barrera, C.; Zapata, B. (1999). Reducción de la DQO en licores negros. Uso de la acidificación controlada. *Ingeniería Química*, vol.31, pp. 182-188.
2. Baekeland, L.H. US-PS 942699 (13 July 1907); DE-PS 233803. Patente.
3. Carvajal, O.; *et al.* (1987). Producción industrial de resina fenólica y su aplicación en tableros de partículas de baja densidad. *Rev. ICIDCA*, Cuba, Vol. 21(2), p.32-36.
4. Serantes, M. (2002). Monografía 2. Resina fenol-formaldehído para la producción de tableros de partículas. Editorial ICIDCA, ISBN: 959-7165-02-3, p. 39-49.
5. Brown, A.; Vázquez, H.; Alba, L.; Reyna, M.; García, J.L.; Rodríguez, M.E. (2007). Estudio de un polímero funcionalizado de sacarosa. *Rev. Mexicana de Ingeniería Química*. Vol.6, No.1, 27-32.
6. Pizzi, A.; Mittal, K.L. (2003). *Handbook of Adhesive Technology*. 2nd Ed., p. 573-598, Marcel Dekker. New York, USA.
7. Serantes, M. (1985). Síntesis de resina fenol-formaldehído para aglutinar tableros de partículas de bagazo." VIII Sympóziom pokroky vo vyrobe a pouziti lepidiel y drevopriemysle. Slovakia. pp. 130-145.
8. Hernández, Y.; Dopico, D.; Bordallo, E.; Céspedes, M.I.; Lami, L. (2014) Despolimerización de la lignina. Oportunidades y perspectivas. *Rev. Centro Azúcar*, No.2, Vol.41, pp. 82-88.
9. Chávez-Sifontes, M.; Domine, M.E. (2013). Lignina, estructura y aplicaciones: Métodos de despolimerización para la obtención de derivados aromáticos de interés industrial. *Avances en Ciencias e Ingeniería* - ISSN: 0718-8706 Av. cien. ing.: 4(4), 15-46.
10. Gellerstedt, G.; & Henriksson, G. (2008). Lignins: Major sources, structure and properties. En M. Naceur Belgacem, & A. Gandini (Edits.), *Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources* (págs. 201-224). Amsterdam: Elsevier B.V.
11. Peng, F.; Rin, J.; Xu, F.; Bian, J.; Peng, P. and Sun, R. (2009). Comparative study hemicellulose obtained by graded ethanol precipitation from sugarcane bagasse. *J. agric. Food chem*, 57, pp. 6305 – 6317.
12. Lora, J.H., Glasser, W.G., (2002). Recent application of lignin: A sustainable alternative to nonrenewable materials. *J. Polym. Environ.* 10, 39-48.
13. Vázquez, G.; González J.; Freire S.; Antorrena G. (1997). Effect of chemical modification of lignin on the gluebond performance of lignin-phenolic resins. *Boiresource Technology*. 60,191-198.
14. Clavé, L. (1990). Industrial application of phenolic-lignin adhesives. Paper presented at XIX IUFRO World Congress, Montreal, Canadá.
15. Tahir, P.M.; Sellers, T.Jr. (1990). Organosolv lignin-modified phenolic resins for plywood adhesives. *Proceeding of division 5, XIX IUFRO World Congress*, Montreal, Canadá, 207-214.
16. Miller, J.E.; Evans, L.; Littlewolf, A.; Trudell, D.E. (1999). Batch microreactor studies of lignin and lignin model compounds depolymerization by bases in alcohol solvents. *Fuel* (78). 1363-1366.
17. Markovich, S.; Dunjic, B.; Zlatanovic, A. and Djonlagic, J. (2001). Dynamic mechanical analysis study of the curing of phenol-formaldehyde novolac resins. *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 81, pp. 1902-1913.
18. Gosselink, R.J.A.; Abächerli, A.; Semke, H.; Malherbe, R.; Käuper, P.; Nadif, A.; Van Dam, J.E.G. (2004a). Analytical protocols of characterization of sulphur-free lignin. *Ind. Crops Prod.* 19, 271-281.
19. Wooten, A.L.; Sellers, T. Jr.; Tahir, P.Md. (1988). Reaction of formaldehyde with lignin. *Forest Products Journal*. 38 (6). 45-46.

Calibración multivariante de metanol y alcoholes superiores en rones cubanos oscuros a partir de mediciones UV-visible

Estrella Patricia Zayas-Ruiz^{1*}, Magdalena Lorenzo-Izquierdo², Felipe Orestes Fragoso-Concepción¹, Dany Daniel Scott-del Sol³

1. Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría” (CUJAE). Facultad de Ingeniería Química. Calle 114 No. 11901 e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba.
*estrella@quimica.cujae.edu.cu
2. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (Icidca). Vía Banca 804 y Carretera Central. San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba.
3. Empresa Importadora y Exportadora de la Química (Quimimpex). Ave. 57 No. 4437. Puentes Grandes, La Habana, Cuba.

RESUMEN

Las bebidas alcohólicas destiladas presentan un alto riesgo de contaminarse con metanol y algunos alcoholes superiores. En Cuba se realiza un riguroso control de calidad a los rones para determinar si se encuentran dentro de las normas requeridas por la industria. En el trabajo se obtuvieron modelos de calibración para la predicción de concentración de metanol y alcoholes superiores en rones cubanos a partir de mediciones espectroscópicas en el ultravioleta visible empleando la quimiometría. Se trabajó con rones oscuros empleando el software cubano Quimiometrix para el desarrollo de los modelos de calibración multivariada. Se emplearon para la calibración: la regresión por componentes principales (PCR) y la regresión por mínimos cuadrados parciales (PLS). Los resultados más importantes del trabajo son los modelos de calibración con un buen ajuste obtenidos para determinar la concentración de metanol y alcoholes superiores de forma indirecta a partir del espectro UV-visible. Los mejores modelos se obtuvieron empleando la regresión por mínimos cuadrados parciales (PLS). Para la calibración de metanol el mejor modelo fue el obtenido con cinco factores con un RMSECV de 0.0647 y para la suma de alcoholes superiores el mejor modelo fue el de ocho factores con un REMSCV de 0.0578.

Palabras clave: rones, metanol, alcoholes superiores, quimiometría, regresión multivariante.

ABSTRACT

Distilled alcoholic beverages present a high risk of being contaminated with methanol and some higher alcohols. In Cuba a rigorous quality control is carried out on rums to determine if they are within the standards required by industry. The paper deals with obtaining calibration models for the prediction of methanol and higher alcohols concentrations in Cuban rums from spectroscopic measurements in the visible ultraviolet together with the use of Chemometrics. Dark rums were used and the Cuban software Quimiometrix was employed for the development of multivariate calibration models. Principal components regression (PCR) and partial least squares regression (PLS) were the techniques used for calibration. The most important results of the paper are that calibration models can be obtained with a good adjustment to determine the concentration of methanol and higher alcohols indirectly from the UV-visible spectrum. The best models were obtained using partial least squares regression. For methanol calibration the best model was obtained with 5 factors with a RMSECV of 0.0647 and for the sum of higher alcohols the best model was that of 8 factors with a REMSCV of 0.0578.

Key words: rums, methanol, higher alcohols, multivariate regression, chemometrics.

INTRODUCCIÓN

La quimiometría es fundamental cuando se pretende estimar la concentración de cualquier especie química, como la del metanol y la de alcoholes superiores, de forma indirecta a partir de espectros, ya sea ultravioleta visible (UV- visible) como en la zona infrarroja media o cercana. Para ello se utilizan métodos de calibración como: la regresión por componentes principales (PCR), la regresión por mínimos cuadrados parciales (PLS), máquinas de soporte vectorial para regresión (SVR) y técnicas de minería de datos en general. En las industrias roneras las determinaciones de metanol y alcoholes superiores son engorrosas e imprecisas pues no se cuenta con cromatógrafo de gases en sus laboratorios, y se realizan mediante el análisis químico tradicional. Por esta razón un modelo multivariante, para determinar las concentraciones de metanol y alcoholes superiores, elaborado a partir de espectros UV-visible, sería de gran utilidad pues se podría obtener la propiedad difícilmente medible a partir de otra fácil de medir como el espectro y este equipo se encuentra en el laboratorio de control de calidad de las industrias productoras de ron. El uso del modelo multivariante da la posibilidad de estimar la concentración de metanol y alcoholes superiores de forma rápida y además permite a los productores garantizar la calidad de sus rones y evita el envío a laboratorios especializados de sus productos, economizando la cantidad de análisis a realizar y el costo que esto implica.

Existen numerosos trabajos que utilizan la calibración multivariable, por ejemplo Reach *et al.* recientemente obtuvieron modelos de calibración para la determinación de azúcares totales en bebidas a partir de soya mediante la espectroscopia infrarroja y quimiometría con muy buenos resultados (1).

El objetivo del trabajo es obtener modelos de calibración multivariante para la determinación de metanol y para la suma de alcoholes superiores (suma de las concentraciones de propanol, isobutanol, 2 metil 1 butanol y alcohol isoamílico) en rones cubanos a partir de espectros ultravioleta visible.

MATERIALES Y MÉTODOS

La determinación de la concentración de metanol y alcoholes superiores en rones se realizó por cromatografía de gases capilar según la norma NC 508:2011 (2) en el laboratorio del Centro de Referencia de Alcoholes y Bebidas (CERALBE). Las concentraciones están expresadas en gramos/100 litros de alcohol absoluto (AA) y constituyen la variable "Y" en los modelos multivariantes. Se midieron los espectros UV - visible a 11 muestras de rones cubanos oscuros. Para leer cada espectro se utilizó como blanco una solución al 50 % etanol - agua, como

referencia para obtener las 701 lecturas de absorbancia (variables "X") en cada espectro, ya que se leyó cada 1 nm desde 200 nm hasta 900 nm, en un Espectrómetro UV- VIS ULTROSPEC 2000 con cubetas de vidrio cuarzo de longitud 10 cm. Se realizó una lectura para cada muestra. La calibración multivariante se realizó con el software Quimiometrix v1.0 desarrollado por el Centro de Aplicaciones de Tecnologías de Avanzada (CENATAV) (3, 4). En los modelos de calibración Regresión por Componentes Principales (PCR) y Regresión por Mínimos Cuadrados Parciales (PLS-1) (5) se emplearon: el centrado de los datos, la validación cruzada dejando una muestra fuera, 0.95 % de nivel de confianza y las transformaciones aplicadas fueron: alisamiento por la media y por la fase móvil, corrección multiplicativa de dispersión (MSC). Se comenzó haciendo un modelo con los datos originales para 10 factores, se comprobó el error medio cuadrado de validación cruzada (RMSECV), que es una medida del error cometido en la calibración, también se comprobó la existencia de puntos atípicos y se trabajó con el propósito de obtener el mejor modelo, que siempre es el más sencillo el cual deberá tener el menor número de factores y el menor error posible para que ofrezca buenas predicciones y sea de fácil utilización.

En el análisis de la calidad del ajuste de los diferentes modelos se trabajó con diferentes opciones: gráficas y tabuladas, que facilitan la toma de decisiones de cuál modelo será mejor, entre las que se encuentran:

- Ajuste de las "Y": da una medida de la predicción realizada y se obtiene el RMSECV.
- Selección de factores del modelo: ofrece la variabilidad que expresa cada factor extraído durante la regresión.
- Detección de puntos atípicos: informa acerca de las muestras que son consideradas atípicas. Para su detección se utilizan los residuos estudentizados que se grafican respecto a las muestras y se consideran atípicas aquellas muestras con residuos entre -2.5 y 2.5.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se analizó el trabajo de Zayas y colaboradores (6), con resultados de diferentes modelos de calibración de metanol en rones (claros y oscuros) a partir de espectros UV-visible, se decidió realizar el ajuste de modelos para los rones oscuros por separado. Como primer paso se analizó el poder de modelación de las variables espectrales que se muestra a continuación en la figura 1.

La línea recta indica el 70 % del poder de modelación y es por eso que se decidió trabajar las absorbancias hasta 470 nm ya que es la zona donde el espectro tiene mayor poder de modelación. Los

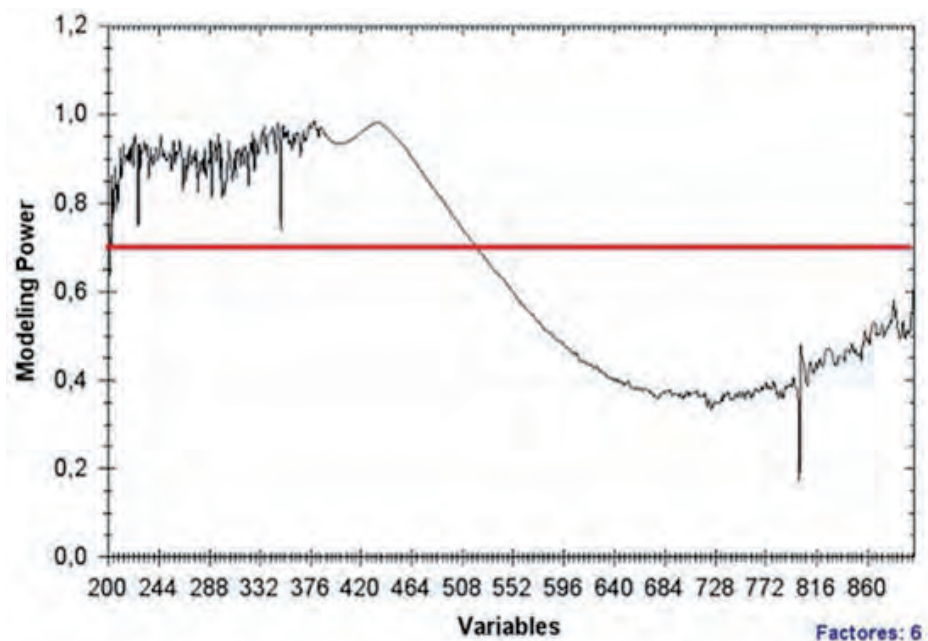


Figura 1. Poder de modelación del análisis de componentes.

Tabla 1. Modelos para la calibración de metanol

Factores	RMSECV	Puntos atípicos	Número de muestras
10	$8.156 \cdot 10^{-15}$	0	11
8	0.143	0	11
6	0.69	0	11

Tabla 2. Modelos para la calibración de alcoholes superiores

Factores	RMSECV	Puntos atípicos	Número de muestras
10	$2.968 \cdot 10^{-13}$	0	11
9	5.77	0	11
6	30.364	0	11

Tabla 3. Modelos para la calibración de metanol

Factores	RMSECV	Puntos atípicos	Número de muestras
10	0.00015	0	11
6	0.0199	0	11
5	0.0647	0	11
3	0.495	0	11

Tabla 4. Modelos para la calibración de alcoholes superiores

Factores	RMSECV	Puntos atípicos	Número de muestras
10	0,0098	0	11
8	0,0578	0	11
7	0,422	0	11
6	1,27	0	11
5	3,474	0	11
3	22,96	0	11

espectros se utilizaron sin realizarle transformación alguna, solamente el centrado de los datos, debido a que se obtuvieron los mejores modelos de esta forma. Los resultados obtenidos se muestran a continuación.

Calibración por componentes principales (PCR)

El modelo obtenido por PCR para metanol no es bueno, como se muestra en la tabla 1, ya que solo con 10 factores, que sería el máximo número, es que se obtiene un error pequeño, pero cuando se reduce a 6 factores el error aumenta y la predicción por consiguiente, es muy pobre.

Para los alcoholes superiores el error aumenta considerablemente, como se muestra en la tabla 2, cuando se reducen factores por lo que solo se obtiene un buen modelo con el número máximo de factores.

Calibración por mínimos cuadrados parciales (PLS)

El modelo con el número máximo de factores (10), en la predicción de metanol, es el mejor (tabla 3), pero cuando se redujeron los factores se obtuvieron también buenos modelos con errores pequeños. El modelo obtenido con 5 factores tiene muy buen ajuste ya que el error es pequeño, la predicción es buena y se han reducido a la mitad el número de factores. Puede apreciarse como queda la línea de ajuste en las "Y" en las figuras 2 y 3 para los modelos de 10 y 5 factores, respectivamente.

Cuando se reducen los factores a 3 se observa una muy mala predicción, no es un buen modelo, sin embargo, este modelo es mucho mejor que el obtenido por PCR con 6 factores analizado anteriormente y que se muestra en la tabla 1.

El análisis anterior permite decir que sería conveniente construir modelos de regresión

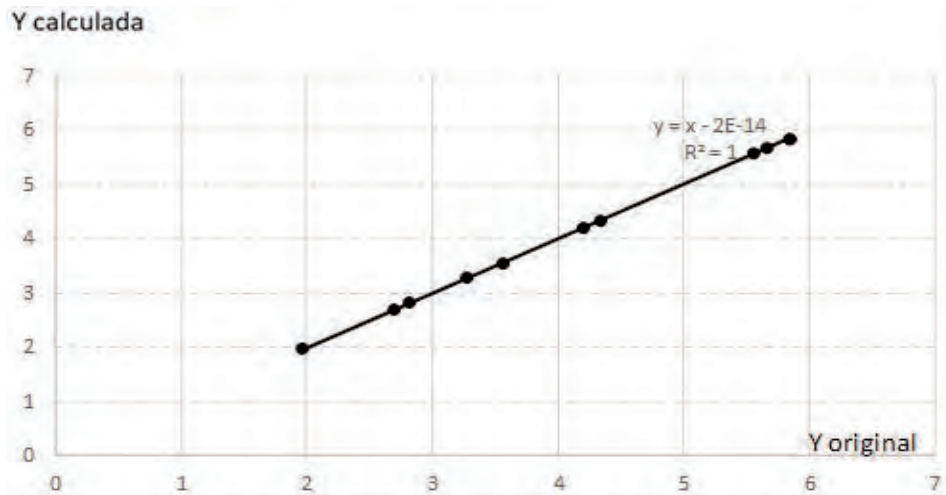


Figura 2. Ajuste en las “Y” para 10 factores.

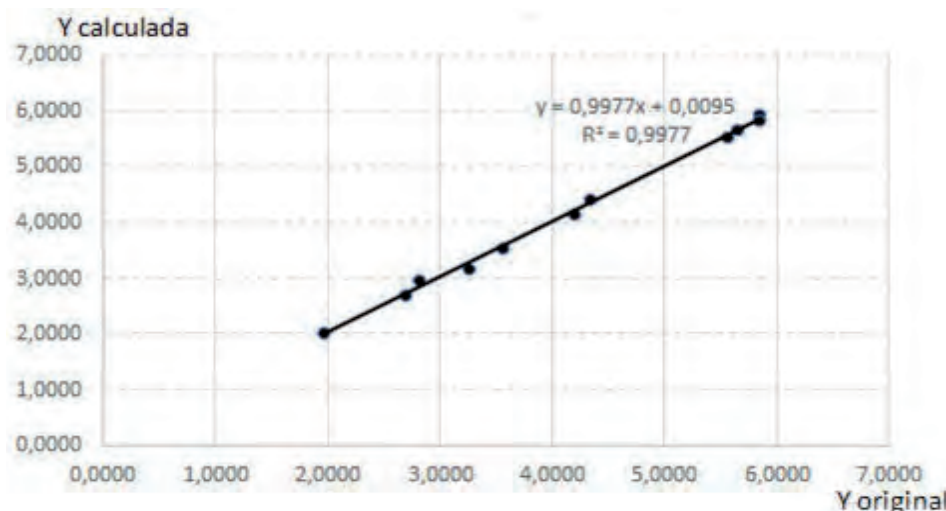


Figura 3. Ajuste en las “Y” para 5 factores.

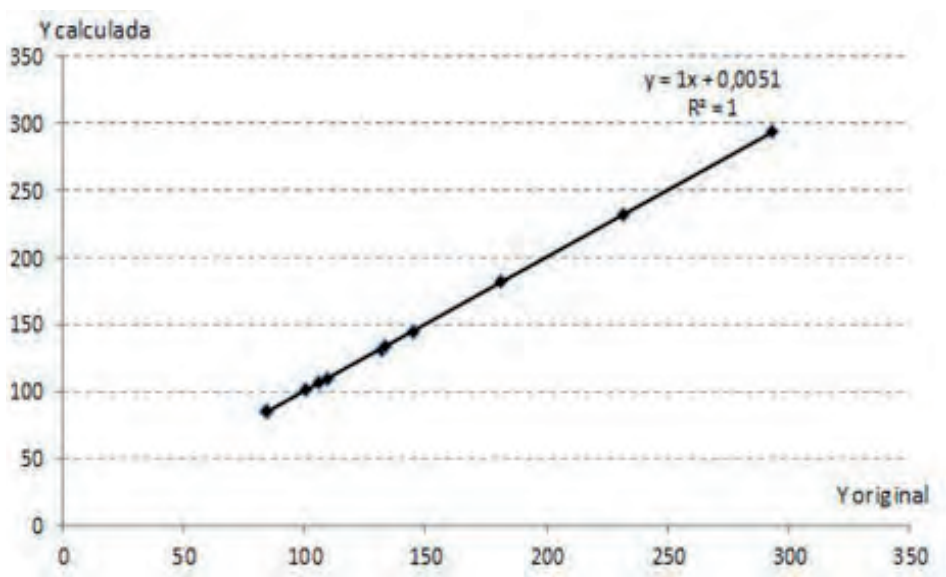


Figura 4. Ajuste en las “Y” para el modelo con 10 factores.

multivariante, cuando se use la espectroscopía UV-visible, para rones oscuros y claros por separado pues aumenta la precisión en la predicción de la concentración de metanol.

En el trabajo de Zayas *et al.* (6), los mejores modelos para el metanol se obtuvieron aplicando máquinas de soporte vectorial (SVM) que son mucho más complicados que los obtenidos en este trabajo, además los modelos PCR y PLS tuvieron una menor calidad de ajuste r que los obtenidos con los rones oscuros.

En el caso de los alcoholes superiores es bueno el modelo con 10 factores (tabla 4) ya que la predicción es muy buena como se muestra en la figura 4, sin embargo pueden llegar a reducirse los factores a 8 y el error aún es pequeño lográndose también buenas predicciones.

Para alcoholes superiores no se habían obtenido resultados aceptables en trabajos anteriores (6 y 7), donde se realizó la regresión utilizando muestras de rones claros y oscuros conjuntamente. Resulta por tanto más conveniente hacer los modelos separados para rones claros y rones oscuros.

CONCLUSIONES

Se obtuvo modelos para la calibración de metanol y alcoholes superiores en rones cubanos oscuros a partir de mediciones del espectro ultravioleta visible.

- El mejor modelo para estimar la concentración de metanol fue el obtenido por regresión por mínimos cuadrados parciales (PLS) con 5 factores y un REMSCV de 0.0647.
- Para estimar la concentración de la suma de alcoholes superiores el mejor modelo fue el obtenido por PLS con 8 factores y un REMSCV de 0.0578.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de

Azúcar, en particular al Centro de Referencia de Alcoholes y Bebidas (CERALBE) por su apoyo en la experimentación necesaria para la realización de este trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Rech, A.M., Weiler, F.H. & Ferrão, M.F. Determination of Total Sugar Content in Soy-Based Drinks Using Infrared Spectroscopy and Chemometrics. *Food Analytical Methods*. July 2018, Vol11, Issue 7, pp 1986–1993. 2018
 2. NC-508.” Bebidas alcohólicas-Determinación de componentes volátiles mayoritarios en bebidas alcohólicas destiladas, aguardientes y alcohol etílico por cromatografía gas-líquido”. Oficina Nacional de Normalización.pp.1-14. 2011.
 3. Talavera, I.; *et. al.* Centro de Aplicaciones de Tecnologías de Avanzada (CENATAV). *Quimiometrix*. [CD-ROM] Versión 1.0, La Habana, Cuba: 2013.
 4. Talavera, I.; *et. al.* “Quimiometrix II, una plataforma automatizada para el procesamiento multivariante de datos químicos y bioquímicos”. *Revista Cubana de Química*. 25(3), pp. 257-265. septiembre-diciembre, 2013.
 5. Bustio, L.Arquitectura hardware-software para acelerar el entrenamiento de SVM. Tesis de maestría del área de ciencias computacionales en el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica. Tonantzintla, México, marzo 2010.
 6. Zayas, E.; *et. al.* “Modelos de calibración multivariada para la determinación de metanol en rones cubanos a partir de espectroscopía UV- visible”. *Memorias Diversificación 2017. XIV Congreso Internacional sobre Azúcar y Derivados*. La Habana. 2017.
 7. Zayas, E.; *et. al.* “Modelos de calibración multivariada para la determinación de metanol en rones cubanos a partir de espectroscopía UV- visible”. *Revista ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar*. Cuba. 51 (3) pp. 46-49, sept.-dic., 2017.
-

Proyecto para la recuperación de una máquina de ensayos mecánicos

Gilberto Mesa-Mena*, Andrés Gómez-Estevez, Marlen Lorenzo-Maiquez

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (Icidca).

Via Banca 804 y Carretera Central. San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba.

* gilberto.mesa@icidca.azcuba.cu

RESUMEN

Las propiedades mecánicas de los materiales determinan el servicio al que pueden destinarse y de ahí la importancia de los ensayos mecánicos que se realizan en LAFIM. Este laboratorio cuenta, para los ensayos de fuerza, con un Dinamómetro Universal al que hace algunos años se le incrementó las prestaciones, mediante una adaptación para su conexión con una PC; sin embargo, no ha sido posible su modernización por la obsolescencia de la tecnología empleada. Además, LAFIM tiene otro dinamómetro similar que está fuera de servicio por la rotura irrecuperable de su Unidad de Control y que serviría para incrementar los servicios del laboratorio. Este artículo se refiere a las características generales de los ensayos mecánicos de fuerza, a la descripción del dinamómetro y al proyecto de utilizar un dispositivo programable (Arduino) en función de Interfaz con la PC y para gobernar la conmutación de las señales de medición y control de un dinamómetro para el otro. Con este sistema se trabajarían los dos dinamómetros utilizando una sola Unidad de Control, poniendo así en funcionamiento el otro dinamómetro. La interfaz USB disponible en el Arduino se aprovecharía para la comunicación con la PC, que entonces pudiera ser una máquina de última generación.

Palabras clave: ensayos mecánicos, dinamómetro universal, Arduino.

ABSTRACT

The services which the materials can be allocated depends of their mechanical properties and that is why is important the mechanical tests which are carried out in LAFIM. For strength tests, this laboratory has a Universal Dynamometer coupled with a PC by an adaptation made some years ago; however it has not been possible its modernization due to the obsolescence of the technology used. In addition, LAFIM has another similar dynamometer that is out of service due to the irretrievable breakage of its Control Unit, which would serve to increase the services of the laboratory. This article refers to the general characteristics of the mechanical strength tests, the dynamometer description and the project of using a programmable device (Arduino) as an interface with the PC and to drive the switching of the measurement and control signals from one dynamometer to the other. With this system the two dynamometers would be driven using a single Control Unit, putting then in operation the other dynamometer. The USB interface available on the Arduino would be used in the communication with the PC, which could then be a last generation machine.

Key words: mechanical tests, universal dynamometer, Arduino.

INTRODUCCIÓN

El laboratorio físico mecánico (LAFIM) del Icidca, se ha encargado durante 40 años del estudio de las propiedades mecánicas de los polímeros y tableros de partículas de bagazo desarrollados en el propio Instituto y además ha estado brindando servicios si-

milares con el análisis de otros materiales, solicitados por centros de todo el país. Entre los equipos fundamentales de este laboratorio se cuenta con una máquina de ensayos de fuerza (dinamómetro universal "Alwetron") que permite realizar pruebas de resistencia mecánica a los materiales (tracción, flexión y compresión).

El dinamómetro universal Alwetron (modelo TCT-10) llegó al ICIDCA en el año 1981 y ha estado brindando servicio durante todos estos años, pasando por muchas reparaciones y adaptaciones que han permitido que vuelva a funcionar (hasta incrementándose sus prestaciones). El equipo originalmente entregaba los resultados de los ensayos por medio de dos indicadores digitales (fuerza y desplazamiento) y de un registrador con cartilla de papel, para graficar la curva del comportamiento de la fuerza en función del desplazamiento. Posteriormente se le realizó una adaptación para acoplarle una computadora (1, 2) (figura 1) de manera que actualmente la información se procesa, muestra y almacena en la PC. La calidad del equipo ha hecho meritorio el esfuerzo realizado por mantenerlo en operación durante tantos años y con el acoplamiento de la computadora se ha logrado tener una máquina de ensayos que entrega resultados comparables con los equipos similares que se ofertan actualmente en el mercado.

LAFIM también contaba con otro dinamómetro similar (modelo TCT-5) que quedó fuera de servicio permanentemente por la rotura de su Unidad de Control; tener este otro equipo funcionando sería ventajoso para poder realizar ensayos a materiales de baja tenacidad, utilizando como sensor de fuerza las celdas de carga (de menor capacidad) que tiene este. Con el propósito de gobernar los dos dinamómetros, utilizando la Unidad de Control del equipo que funciona actualmente (TCT-10), se pretende implementar un sistema que posibilite conmutar las conexiones de la Unidad de Control (de un dinamómetro para el otro). La selección del dinamómetro que se utilizaría, se realizará desde la computadora acoplada al equipo; utilizando como Interfaz un dispositivo programable denominado Arduino, con

la circuitería requerida para el manejo de todas las señales de medición y control.

El uso del Arduino como interfaz, dará además la ventaja de poder sustituir la PC que tiene acoplada actualmente el dinamómetro, para poder utilizar cualquier computadora moderna en la adquisición de los datos de los ensayos.

DESARROLLO

Las propiedades físicas de los materiales se ponen de manifiesto al aplicársele a este algún estímulo como: electricidad, luz, calor o fuerza. Las que se manifiestan al aplicarle fuerzas exteriores son las propiedades mecánicas (elasticidad, plasticidad, maleabilidad, ductilidad, dureza, tenacidad y fragilidad) y se refieren a la capacidad de los materiales de resistir acciones de carga (3).

Las propiedades mecánicas de los materiales determinan el servicio al que pueden destinarse y por ello es necesario comprobar la respuesta que ofrecen al ser manipulados. La forma de saber sus propiedades es realizándole una serie de ensayos de esfuerzos mecánicos en los que se fuerza al límite el material que se desea comprobar (4).

Existen diferentes tipos de máquinas de ensayos para probar las propiedades mecánicas de los materiales y el Dinamómetro Universal Alwetron es una de ellas, específicamente diseñado para ensayos de fuerza (tracción, flexión y compresión).

El ensayo de tracción consiste en someter a una probeta normalizada (5, 6) a un esfuerzo axial de tracción creciente hasta su rotura. En este ensayo se mide la resistencia del material a una fuerza estática o que se aplica lentamente; por eso se realiza el ensayo a velocidades muy pequeñas.



Figura 1. Dinamómetro universal Alwetron TCT-10 acoplado con una PC.

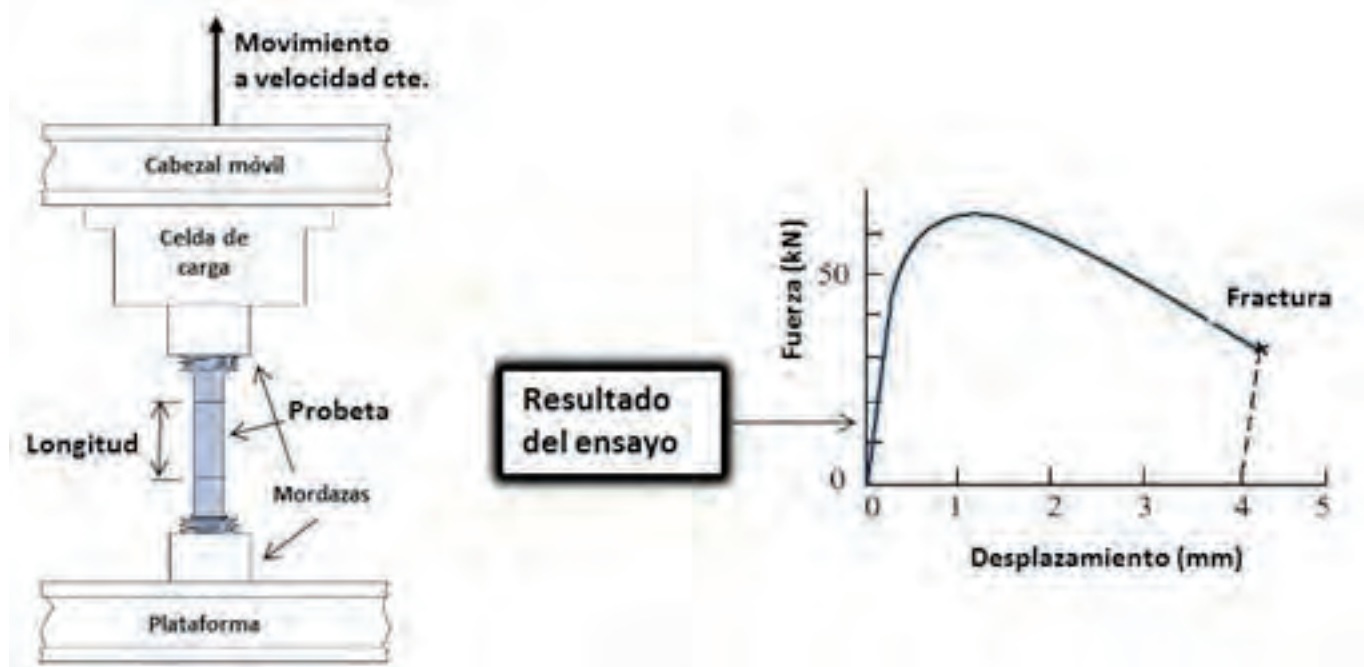


Figura 2. Ensayo de tracción.

El ensayo de flexión se basa en la aplicación de una fuerza al centro de una barra soportada en los extremos (7) para determinar la resistencia del material a una carga estática o aplicada lentamente (normalmente esta prueba se realiza a materiales frágiles).

El ensayo de compresión se realiza generalmente sobre probetas cilíndricas, con dimensiones acorde a las normas (8) para determinar la carga que pueden soportar los materiales estructurales.

Los materiales sometidos a esfuerzos, primero se deforman elásticamente y luego plásticamente; la deformación elástica es recuperable, mientras que la deformación plástica es permanente. Por tal razón, los principales parámetros que se evalúan en los ensayos de fuerza son el módulo de elasticidad y la carga máxima que soporta la probeta hasta su fragmentación. Esos parámetros se obtienen con las máquinas de ensayos, a partir del registro de los datos de la fuerza aplicada en relación al desplazamiento. La figura 2 muestra un ensayo típico.

El dinamómetro Universal Alwetron

Este equipo consta de una estructura mecánica (similar a una prensa) conectada con una Unidad de Control. La parte mecánica, como puede apreciarse en la figura 1, es básicamente una estructura formada por una plataforma inferior, dos barras laterales y otra plataforma superior. Entre las dos barras se desliza un cabezal móvil, trasladado por medio de dos husillos que se hacen girar con un motor eléctrico. En el cabezal móvil es donde se fija la celda de carga (sensor que detecta la magnitud de la fuerza

aplicada) con una de las mordazas utilizadas para tirar de la probeta en los ensayos de tracción (la otra mordaza que sujeta la probeta se fija a una de las plataformas fijas). Su movimiento es a velocidad controlada (establecida a voluntad del operador) y su desplazamiento se mide con alta precisión, mediante un sensor opto-electrónico situado en el extremo de uno de los husillos.

La unidad de control es donde se encuentran los circuitos electrónicos que permiten garantizar el valor que se requiera de la velocidad en el movimiento del cabezal móvil, los que amplifican y digitalizan la señal de fuerza que entrega la celda de carga para mostrar el valor en uno de sus indicadores digitales y también donde se procesa la señal del desplazamiento que va teniendo el cabezal para mostrar ese valor en el otro indicador. En esta unidad además se encuentran los elementos que le permiten al operador seleccionar las diferentes opciones de trabajo y hacer funcionar el equipo, así como los circuitos de la lógica de accionamiento y protección. Por la época en que se construyó el Alwetron TCT-10, la tecnología electrónica utilizada en su circuitería está basada en componentes discretos (circuitos integrados con funciones establecidas de fábrica, que no se modifican por programa) y esto hace que esté diseñado utilizando gran cantidad de componentes (figura 3) lo que ha repercutido en que tenga mayores probabilidades de rotura, pero también en que se haya facilitado su reparación (sustituyendo en cada caso el componente averiado por otro del mismo tipo).

El Alwetron TCT-5 que se encuentra en LAFIM, fue construido pocos años después del TCT-10, pero



Figura 3. Unidad de Control del Alwetron TCT-10.

su tecnología es de otra generación. En este diseño, el fabricante utilizó una computadora como Unidad de Control, con un programa de trabajo desarrollado a propósito y una Interfaz específicamente diseñada para la aplicación (que se insertaba en los buses internos de la PC) en la que utilizó circuitos microprocesadores con un programa específico grabado en sus memorias. Esta tecnología es más moderna, flexible en el diseño y seguramente abarató el costo de fabricación; pero al romperse la computadora después de haber evolucionado la tecnología de las PC, no fue posible insertar la interfaz del Alwetron en las nuevas máquinas y no hubo forma de rehabilitar el sistema de control de ese dinamómetro.

Tener dos máquinas de ensayos de fuerza en funcionamiento, preparadas para realizar ensayos de diferentes características, permitiría incrementar los servicios que se brindan en LAFIM. Considerando esto, lo costoso que son estos equipos y que se dispone de la parte mecánica del TCT-5 sin poderse utilizar, se comenzó a trabajar en un sistema que permita gobernar los dos dinamómetros con la única Unidad de Control de que se dispone.

Sistema de control para los dos dinamómetros

Se hizo un análisis de las conexiones eléctricas, y se determinó que la Unidad de Control está preparada para que se le conecten hasta 3 celdas de carga, por lo que para la medición de fuerza podrán conectarse directamente las celdas de los dos dinamómetros; requiriéndose solamente seleccionar la celda con la que se trabajará. Entre la parte mecánica y la Unidad de Control hay conexiones de señales para accionar el motor que desplaza el cabezal móvil y señales del dispositivo (Encoder)

que sirve como realimentación en el control de la velocidad. Además de estas señales, están las del captador de desplazamiento y las de protección, que actúan cuando el cabezal móvil rebasa en su recorrido los límites establecidos. Todas esas conexiones se conmutarán electrónicamente mediante circuitos integrados TC4016 (9) haciendo que la Unidad de Control quede conectada a un dinamómetro o al otro. Los conmutadores electrónicos se gobernarán desde la PC; pero como las computadoras estándar no están preparadas para actuar sobre esos elementos, se requerirá de una interfaz que lo permita y esa interfaz será una placa Arduino. La figura 4 representa la forma en que quedaría el sistema para los dos dinamómetros.

Arduino es una plataforma electrónica de prototipos basada en hardware y software libre y muy flexible. Su presentación es como una placa de circuito impreso donde viene montado un microcontrolador y una interfaz USB, a través de la cual se conecta este a la PC para cargar el programa de trabajo del microcontrolador (que se elabora en la PC) y para intercambiar datos en las aplicaciones que requieran de trabajar este en línea. Dispone de múltiples entradas y salidas, que pueden utilizarse para adquirir información y gobernar dispositivos de los procesos en que se utilice (10, 11).

Una placa Arduino, por su flexibilidad y bajo costo, constituye la interfaz ideal en aplicaciones simples como el sistema de control para los dos dinamómetros. Algunas de las líneas de puerto de salida del Arduino se utilizarán para gobernar los conmutadores electrónicos adecuados en cada momento y a las líneas de puerto de entrada se conectarán las líneas de la Unidad de Control, que tienen la in-

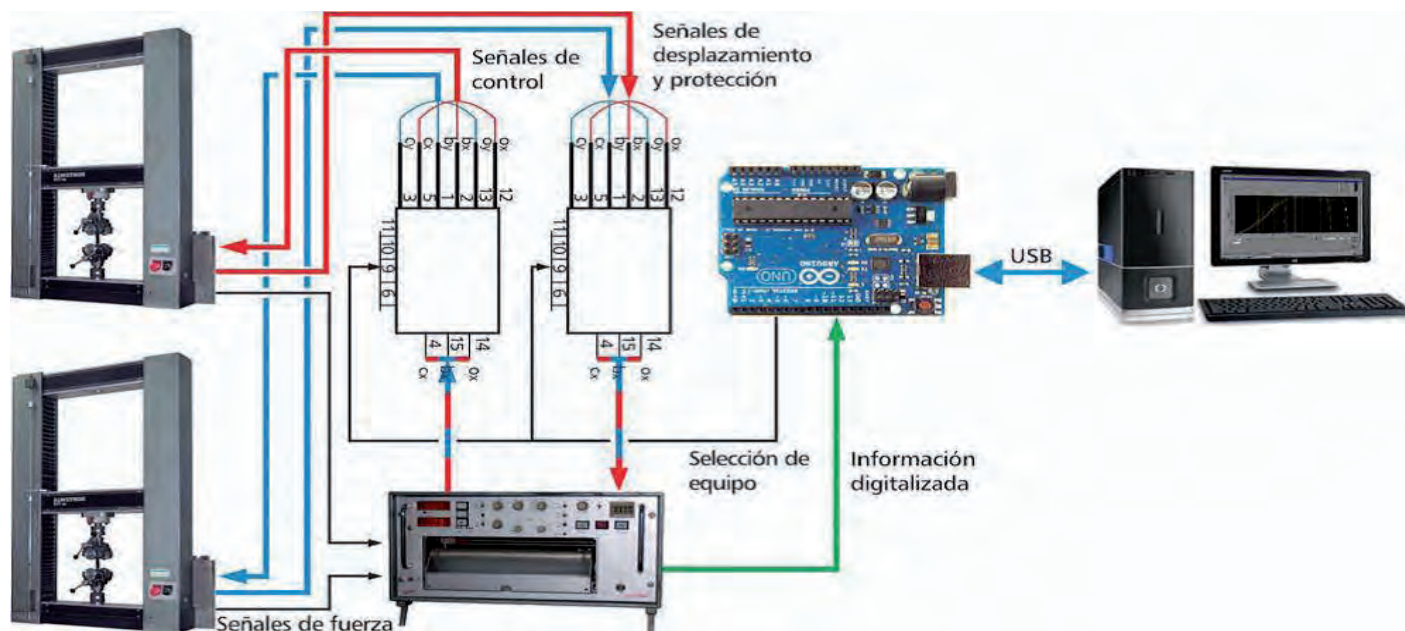


Figura 4. Sistema para utilizar los dos dinamómetros con una sola unidad de control.

formación digitalizada sobre el desplazamiento y la fuerza que se está aplicando en cada instante de tiempo. A través del puerto USB, el Arduino recibirá de la PC la información de cuál dinamómetro debe conectar con la Unidad de Control y por esta misma vía le estará transfiriendo a la PC la información digitalizada del desplazamiento y la fuerza según la va obteniendo a través de su puerto de entrada durante el experimento.

La utilización de un Arduino en este proyecto además de permitir la recuperación del dinamómetro TCT-5, también será la vía para modernizar la computadora que tiene acoplada actualmente el TCT-10. El acoplamiento de la computadora al dinamómetro constituyó un importante paso en el incremento de las prestaciones del equipo, pero se realizó con las posibilidades existentes en el ICIDCA en aquella época y la vía de conexión que se utilizó fue el puerto paralelo de la PC. Como las computadoras modernas no disponen ahora de puertos paralelos, no es posible utilizar esta técnica en ellas y esto ha constituido un freno a la modernización de la computadora y también del sistema operativo utilizado para la aplicación del dinamómetro; pero además, se corre el riesgo de que en algún momento no se pueda trabajar más el dinamómetro desde la PC a causa de la rotura de esa computadora. Con el Arduino como interfaz, la vía de comunicación con la PC será el bus USB que es un estándar de las computadoras modernas y no habrá limitación en relación a la PC que se utilice para esta aplicación.

Con el nuevo sistema se podrá (desde la computadora) seleccionar el dinamómetro en que se trabajará, se mostrará en la pantalla la gráfica de fuerza

en función del desplazamiento y los datos de cada experimento se almacenarán en disco. Pero para lograr este resultado, se requiere de la programación adecuada de las funciones que realizará el Arduino y también de la programación de la aplicación en la PC, de manera que garantice la interfaz con el usuario y realice todas las tareas de cálculos, visualización y almacenamiento de los datos.

CONCLUSIONES

1. Para determinar el uso que se le puede dar a los materiales, es necesario saber sus propiedades mecánicas y eso se logra mediante los ensayos apropiados. Los servicios que brinda en este sentido el LAFIM, con su máquina de ensayos de fuerza, son muy importantes y por ello ameritan que se trabaje en la recuperación del dinamómetro (TCT-5) que se encuentra fuera de servicio.
2. La aplicación de las PC en los procesos tecnológicos siempre se ha dificultado por requerirse de una interfaz entre ellas y el proceso, pero la aparición de los Arduino ha venido a facilitarlo. Un Arduino permitirá manipular las señales de los dos dinamómetros para conectarlos con la Unidad de Control, pero también posibilitará la comunicación de esta con la PC.
3. Para lograr los objetivos planteados se requerirá bastante dedicación, pero el costo en materiales es muy bajo si se compara con el beneficio que reportará; que no será solo la recuperación del TCT-5 sino también la modernización de la computadora acoplada al dinamómetro.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Mesa, G.; Lorenzo, M. El puerto paralelo puede ser útil aún. GIGA (La Habana) número 3: p 6-8, 2012.
 2. Lorenzo, M.; Mesa, G.; Gómez, A. Aplicación con LabVIEW para máquinas de ensayos mecánicos. GIGA (La Habana) número 1: p 21-25, 2014.
 3. https://es.wikipedia.org/wiki/Tecnolog%C3%AD_a_de_materiales Tecnología de materiales. Wikipedia, enero 2019.
 4. http://ocw.uc3m.es/ciencia-e-oin/tecnologia-de-materiales-industriales/bloque-iii/Tema-7-Ensayos_mecanicos.pdf
 5. Norma cubana NC 314: 2004. Tableros de partículas y tableros de fibra. Acondicionamiento y preparación de probetas para los ensayos.
 6. Norma cubana EN 319: 1993, IDT. Tableros de partículas y tableros de fibra. Determinación de la resistencia a la tracción perpendicular a las caras del tablero.
 7. Norma cubana EN 319: 1993, IDT. Tableros de partículas y tableros de fibra. Determinación del módulo de elasticidad en flexión y de la resistencia a la flexión.
 8. Norma Instituto Nacional de Vías E-410: 2007. Resistencia a la compresión de cilindros de concreto ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones_Normas_INV-07/Normas/Norma%20INV%20E-410-07.pdf
 9. C²MOS Integrated Circuits Technical Data. Primera edición. Japón: Toshiba corporation, 1981. Páginas 81-84.
 10. Banzi, Massimo. Getting Starter with Arduino. Estados Unidos: O'Reilly Media, Inc., 2009. Páginas 12-49.
 11. Herrador, Rafael Enríquez. Guía de Usuario de Arduino. (Córdoba) p 8-15, 2009.
-

Criterios para la acreditación de laboratorios que realizan ensayos microbiológicos según NC-ISO/IEC 17025:2006

María Teresa Fernández-Santisteban, Aidin Martínez-Sánchez

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (Icidca).

Via Banca 804 y Carretera Central. San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba.

* maritere.fernandez@icidca.azcuba.cu

RESUMEN

Los laboratorios que realizan ensayos microbiológicos y que obtienen sus resultados como parte de un servicio o de actividades de investigación y desarrollo les favorece implantar un Sistema de Gestión de Calidad (SGC) y reconocer su competencia mediante el proceso de acreditación. La implementación de un SGC y la acreditación aporta confianza tanto en la competencia técnica del laboratorio, como en su capacidad para proporcionar un servicio adecuado a las necesidades de sus clientes según normas nacionales e internacionales reconocidas y aceptadas. El objetivo del trabajo es precisar los criterios para la acreditación de laboratorios que realizan ensayos microbiológicos tomando como referencia la NC-ISO/IEC 17025:2006 y realizar una valoración de los criterios más importantes dentro del laboratorio de microbiología del ICIDCA.

Palabras clave: acreditación, ensayos microbiológicos, ISO, valoración.

ABSTRACT

The laboratories that perform microbiological tests and that obtain their results as part of a service or research and development activities to favor the implementation of a Quality Management System (QMS) and recognition of their competence through the accreditation process. The implementation of a QMS and accreditation provides confidence in both the technical competence of the laboratory, as in its capacity to provide an adequate service to the needs of its clients according to recognized and accepted national and international standards. The aim of this work is to specify the criteria for the accreditation of laboratories that perform microbiological tests, taking as reference the NC-ISO/IE 17025:2006 and to make an assessment of the most important criteria within the Microbiology laboratory of the ICIDCA.

Key words: accreditation, microbiological tests, ISO, assessment.

INTRODUCCIÓN

El creciente uso de los sistemas de gestión ha producido un aumento de la necesidad de asegurar que los laboratorios que forman parte de organizaciones mayores o que ofrecen otros servicios, puedan funcionar de acuerdo con un sistema de gestión de la calidad que opere de acuerdo a los principios de la norma ISO 9001 y la norma ISO/IEC 17025. La norma ISO/IEC 17025 es uno de los criterios obligatorios que emite la Oficina Nacional de Acreditación de la República de Cuba (ONARC) para la acreditación de los laboratorios de ensayos, debido a que este documento contiene requisitos que permiten

a los laboratorios demostrar que operan de forma competente y que tienen la capacidad de generar resultados válidos. Los laboratorios de microbiología realizan dentro de sus ensayos microbiológicos: ensayos de esterilidad, límite microbiano, detección, aislamiento, recuento e identificación de microorganismos y sus metabolitos en diferentes materiales y productos o cualquier otro tipo de ensayo en el que utilicen microorganismos como parte de un sistema de detección. La acreditación de este tipo de laboratorios será el reconocimiento formal de su competencia y capacidad técnica para llevar a cabo estos ensayos específicos. Teniendo en cuenta este análisis, el objetivo del trabajo es dar a conocer los

criterios para la acreditación de laboratorios que realizan ensayos microbiológicos según la NC ISO/IEC 17025:2006 y realizar una valoración de los criterios más importantes dentro del laboratorio de microbiología del ICIDCA.

MATERIALES y MÉTODOS

Para evaluar los criterios para la acreditación de laboratorios que realizan ensayos microbiológicos según NC ISO/IEC 17025:06, se analizaron los factores más importantes que determinan la exactitud y la confiabilidad de los ensayos realizados por un laboratorio de microbiología, entre ellos: las instalaciones y las condiciones ambientales, los reactivos y medios de cultivo, los equipos, la validación de métodos, el aseguramiento y control de la calidad de los resultados y la trazabilidad de las mediciones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para determinar la conformidad de cada uno de estos criterios, se debe analizar el cumplimiento de los requisitos técnicos de la NC ISO /IEC 17025:06 (1) por los laboratorios que realizan ensayos microbiológicos, los cuales se resumen a continuación:

Instalaciones

La ubicación, el diseño y la distribución de las diferentes dependencias del laboratorio debe ser tal que el peligro de contaminación de las muestras, ya sea derivado de las condiciones ambientales, contaminación cruzada u otras causas, sea mínimo. Se debe favorecer un diseño “sin camino de regreso”, es decir que la circulación de las muestras y el personal sea en una sola dirección, con entrada y salida diferentes. Cuando esto no sea posible, deben tomarse medidas alternativas, como las siguientes:

- Realizar los procedimientos de manera secuencial, tomando las debidas precauciones para garantizar la integridad de los ensayos y de las muestras.
- Separar las actividades en el tiempo o en el espacio.

Es recomendable además que los laboratorios dispongan de dos tipos de dependencias:

- Áreas auxiliares (oficinas de administración, aseos, guardarropas, almacenes, archivos).
- Áreas de ensayo (donde se llevan a cabo las actividades específicas de un laboratorio de microbiología).

En general, es conveniente que existan áreas separadas o claramente designadas para las siguientes actividades: recepción y almacenamiento

de muestras, preparación de muestras, mantenimiento de las cepas de referencias, áreas analíticas diferenciadas de las áreas de apoyo y áreas de apoyo (preparación de medios de cultivo y reactivos, esterilización y descontaminación, almacenamiento, lavado de material).

El área de lavado (después de la descontaminación) puede compartirse con otras partes del laboratorio, siempre que se tomen las debidas precauciones para evitar la transferencia de trazas de sustancias que podrían afectar negativamente al crecimiento microbiano.

La conveniencia de la separación física debe juzgarse considerando los parámetros específicos del laboratorio (por ejemplo, número de ensayos realizados, tipo de ensayos, entre otros).

Los locales deben presentar condiciones adecuadas de acuerdo con las normas vigentes y las Buenas Prácticas de Laboratorio y disponer de un registro diario de su comportamiento. Cada uno estará debidamente señalizado e identificado.

Referentes al diseño

Las áreas de trabajo deben ser suficientemente espaciosas como para poder mantenerse limpias y ordenadas. El espacio, dependerá del volumen de análisis a realizar y de la organización interna del laboratorio; requerirá uniones cóncavas entre suelo, paredes y techos; así como iluminación empotrada en los techos. Además, una buena ventilación que puede lograrse mediante ventilación natural o forzada, o el uso de acondicionadores de aire, equipados con filtros para el polvo.

Los sistemas de climatización y ventilación deben asegurar una temperatura entre 20 °C y 25 °C y una humedad relativa no superior al 70 %.

El empleo de tuberías es otro de los elementos a tener en cuenta para transportar líquidos que no deben pasar por encima de las superficies de trabajo, a no ser que estén provistas de un revestimiento herméticamente sellado. No se recomienda el empleo de cortinas y persianas internas en las ventanas.

Referentes a materiales

Las paredes, techos, suelos y superficies de trabajo deben ser lisas, de material no absorbente y fácil de limpiar y desinfectar. Las superficies de madera de instalaciones y accesorios deben estar debidamente protegidas y selladas, evitar las maderas rugosas y sin revestir. No se recomiendan los azulejos como material de recubrimiento de las superficies de trabajo.

De acuerdo con el tipo de ensayo, la apertura de puertas y ventanas debe ser mínima. Los armarios, estanterías, equipos y material de laboratorio deben estar colocados de forma que se evite la acumulación de polvo y se facilite su limpieza. Se recomienda el uso de armarios hasta el techo e identificar las

puertas de acceso al área de trabajo con el símbolo de riesgo biológico

Para facilitar las labores de limpieza, los teléfonos y ordenadores que se encuentren dentro del área de ensayo pueden estar provistos de un protector. El sistema de ventilación de los equipos informáticos debe estar orientado de manera que se evite la contaminación. Por ejemplo, el flujo de aire no debe dirigirse hacia las superficies de trabajo; utilizar lavamanos de accionamiento no manual.

Condiciones ambientales

El laboratorio debe asegurar que sus condiciones ambientales no invaliden los resultados ni comprometan la calidad de sus ensayos. Es importante establecer un programa normalizado de limpieza y desinfección del laboratorio que tenga en cuenta los resultados de vigilancia de las condiciones ambientales y la posibilidad de contaminación cruzada, así como restringir la entrada al laboratorio con solo personal autorizado y con la indumentaria apropiada para el tipo de ensayos que se realicen, despojándose de esta antes de abandonar el área.

Si se detecta una posible contaminación dentro del laboratorio, debe definir los recuentos máximos de microorganismos que considere aceptables y establecer medidas a tomar para corregir las situaciones en que se sobrepasen estos límites. Estas medidas incluyen, por ejemplo:

- La limpieza y desinfección a fondo del laboratorio (incluyendo superficies de trabajo y filtros del aire acondicionado).
- El incremento de la frecuencia de las operaciones de limpieza y desinfección.
- Las modificaciones en los procedimientos de limpieza y desinfección.
- La instalación de unidades de aire acondicionado.

Lo ideal es que los laboratorios dispongan de más de una autoclave. Sin embargo, siempre que se tomen las debidas precauciones para separar las cargas de descontaminación y esterilización y cuando exista un programa normalizado de limpieza para controlar las condiciones ambientales, tanto externas como internas de la autoclave, el laboratorio puede utilizar una única autoclave.

Reactivos, medios de cultivo y equipos

La calidad de los reactivos y medios de cultivos debe ser la apropiada para los ensayos. Se debe verificar la calidad de cada lote de reactivo a su entrada al laboratorio usando controles positivos y negativos de microorganismos que sean reconocidos. Estos controles junto con un almacenamiento apropiado aseguran que los mismos cumplan con las especificaciones requeridas de calidad del producto conservándose en el tiempo.

Los equipos, sus componentes e instrumental de

laboratorio deben mantenerse limpios. Se esterilizarán o desinfectarán según un programa establecido por el laboratorio, manteniendo registros que demuestren el correcto uso de los mismos.

En los documentos de la familia ISO/TR 11133 (2, 3), incluyen un conjunto de directrices para la preparación y esterilización de medios de cultivo, los tiempos de almacenamiento recomendados y el mantenimiento y cuidado de los equipos. Asimismo, es importante identificar la o las personas que han realizado estas operaciones.

Trazabilidad de las mediciones y validación de métodos

Para demostrar la trazabilidad, todo laboratorio de microbiología debe utilizar cepas de referencia de microorganismos suministrados por una colección nacional o extranjera reconocida. Debe demostrarse que las cepas de referencias mantienen sus características originales. Por lo tanto, es recomendable realizar bancos de subcultivos que faciliten una reserva con las condiciones iniciales y con un número de pases bien definido.

El laboratorio, además, debe disponer de métodos de ensayos validados y fiables para proporcionar resultados exactos y reproducibles. Las cepas de referencia juegan un papel fundamental en este aspecto ya que las mismas son utilizadas para validar los métodos de ensayo y realizar el control de calidad interno durante la evaluación de estos.

De manera general, validar métodos microbiológicos requiere:

- Comparar con un método de referencias.
- Usar cepas de referencia y cepas de referencia certificadas.
- La evaluación sistemática de factores
- Ensayos interlaboratorios
- La estimación de la incertidumbre

La validación de los métodos de ensayo debe reflejar las condiciones reales de ensayo. Esto puede conseguirse utilizando muestras contaminadas naturalmente o inoculadas con un nivel conocido de microorganismos contaminantes. El microbiólogo debe estar consciente de que la inoculación de una muestra con microorganismos contaminantes imita tan solo, de una manera superficial, la presencia de contaminantes naturales. No obstante, a menudo es la mejor y la única solución disponible (4).

Aseguramiento de la calidad de los resultados

El laboratorio debe realizar su control interno de calidad, de manera tal que pueda realizar la evaluación continua de su trabajo. El mayor objetivo es asegurar la consistencia de los resultados día a día y su conformidad con los criterios establecidos.

El control interno considerará la evaluación de reactivos, medios de cultivos, calidad de materiales

y cultivos de referencias, métodos de ensayos, y otros.

Los programas de ensayos de aptitud organizados externamente constituyen un medio independiente por el cual se puede evaluar objetivamente y demostrar la fiabilidad y precisión de los resultados obtenidos como una manera de comprobar la calidad de los ensayos y adoptar las medidas oportunas.

Evaluación de los criterios relacionados con la acreditación de laboratorios que realizan ensayos microbiológicos en el Laboratorio de Microbiología del ICIDCA

El laboratorio de microbiología del ICIDCA juega un papel fundamental en la realización de ensayos microbiológicos que involucran al sector azucarero. El análisis microbiológico al azúcar, al agua de proceso que se utiliza en la obtención de azúcar y a la miel obtenida en el proceso de fabricación son algunos de ellos. Independientemente de que el laboratorio cuenta con un personal calificado y con habilidades demostradas, los ensayos microbiológicos deben cumplir con los criterios que a modo de resumen se analizan en este artículo.

A continuación se evaluarán algunos de los criterios que se toman en cuenta cuando se realiza la acreditación de laboratorios que realizan ensayos microbiológicos según la NC ISO/IEC 17025:2006 en el laboratorio de microbiología del ICIDCA y que son la causa de que el laboratorio no se encuentre acreditado.

Instalaciones

El laboratorio de microbiología del ICIDCA no cumple con los requisitos referentes al diseño de sus instalaciones según los criterios expuestos en el

trabajo. Con el interés de lograr la acreditación, el laboratorio está trabajando en función de revertir esta situación, por lo que tiene previsto un proceso inversionista para su remodelación y transformación, que comenzará en el año 2020. En la figura 1, se muestra un croquis realizado por los investigadores del ICIDCA que muestra la vista en planta del laboratorio con la distribución de sus áreas.

El proyecto de remodelación de un laboratorio de este tipo es necesario someterlo a un proceso de licenciamiento por parte del Centro Nacional de Seguridad Biológica (CSB). Específicamente deberá tenerse en cuenta la resolución No. 76 del 2000, Reglamento para el otorgamiento de autorizaciones de esta entidad. El logro más importante de esta resolución es el establecimiento de una metodología general para la confección de los expedientes técnicos a presentar a la autoridad reguladora, en el caso de las actividades relacionadas con el proceso de remodelación de una instalación, y con las prácticas asociadas a la liberación de organismos al medio ambiente, así como las fases de investigación, ensayo y producción de organismos, y la importación y exportación de estos (5). Por ello, para realizar los ensayos microbiológicos y poder acreditar el laboratorio de Microbiología, es imprescindible poseer primeramente la correspondiente autorización del CSB.

Condiciones ambientales

El laboratorio de microbiología realiza la limpieza de todas sus áreas, los equipos y las superficies de trabajo, teniendo en cuenta la posibilidad de contaminación cruzada. Sin embargo, es importante que establezca un programa bien documentado de toda esta actividad, así como del control y seguimiento de las condiciones ambientales, incluyendo ilumina-

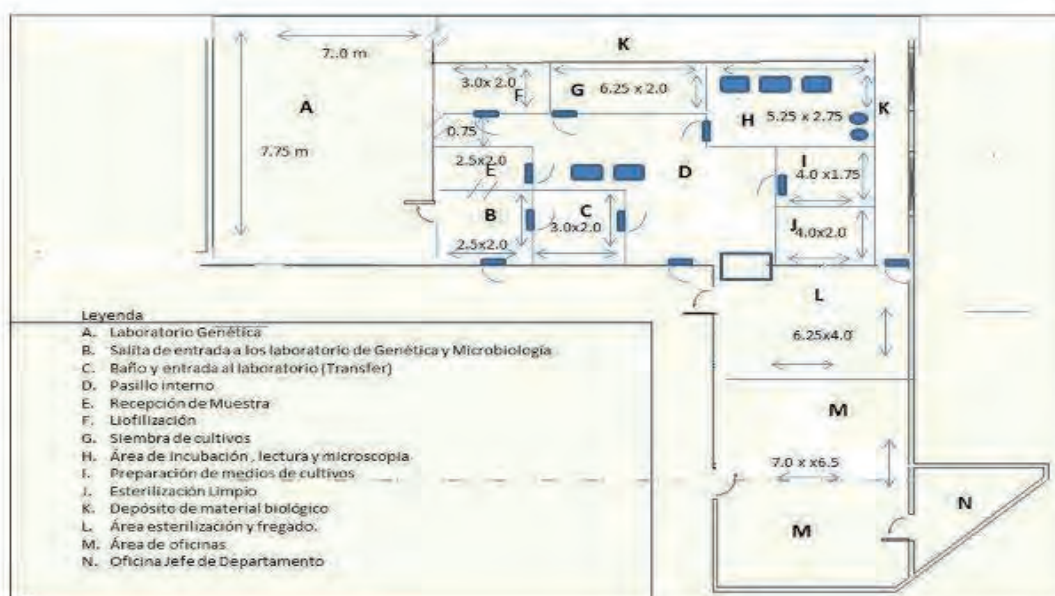


Figura 1. Croquis del laboratorio de microbiología del ICIDCA

ción, fuentes de energía, temperatura y humedad. Estas condiciones no son las apropiadas para las funciones y operaciones que se realizan dentro del laboratorio.

Es importante además que el laboratorio cuente con áreas de cambio de ropa y un baño de fácil acceso, apropiadas para el número de trabajadores y separadas de las áreas del laboratorio.

Disponibilidad de recursos

El laboratorio de Microbiología presenta una colección de cultivos microbianos, depositaria mayoritariamente de cepas autóctonas aisladas, seleccionadas y conservadas a través de 50 años. Está constituida por bacterias, mohos y levaduras de interés industrial que garantizan importantes líneas de investigación en procesos biotecnológicos. Sin embargo, el laboratorio no cuenta con cepas de referencias, las cuales son utilizadas para acreditar o conservar la acreditación de un ensayo, demostrando así la trazabilidad. Además estas cepas son utilizadas para:

1. Evaluar la calidad de los cultivos.
2. Realizar controles de calidad durante los ensayos.
3. Controlar la calidad de los reactivos.
4. Efectuar pruebas confirmatorias, por ejemplo: análisis de coliformes fecales.
5. Validar los métodos.
6. Llevar a cabo el control de calidad interno.

Es importante entonces que el laboratorio adquiera estas cepas a través de proyectos de colaboración internacional o sean suministradas directamente por una colección nacional o extranjera (6).

El laboratorio, además cuenta con equipos capaces de asegurar la reproducibilidad y validez de sus resultados. A pesar de ello, uno de los problemas que inciden mayoritariamente en que no cumpla to-

talmente con el requisito "equipamiento" es la falta de un freezer de -70 °C, equipo fundamental para el mantenimiento y conservación de sus cepas de referencias y de trabajo.

La falta de un suministro estable de medios de cultivo y las respectivas evaluaciones del proveedor de estos medios, es otro de los problemas que posee el laboratorio en su paso hacia la acreditación. En el control de calidad de los medios de cultivo, la selectividad, la productividad y la especificidad son elementos indispensables para realizar los ensayos microbiológicos. Si no se presta la debida atención a este aspecto se pueden emitir resultados que no son confiables.

La calidad de un medio de cultivo preparado no depende exclusivamente de la garantía que representa la marca o el fabricante del medio deshidratado o del proveedor de los ingredientes del mismo, sino de igual forma, o quizás en mayor grado de su correcta preparación por parte del investigador/técnico que realiza los análisis.

CONCLUSIONES

El trabajo ha permitido precisar los factores de mayor incidencia a tener en cuenta para los laboratorios que realizan ensayos microbiológicos según NC ISO/IEC 17025:06, lo cual constituye una base objetiva e indispensable en el proceso de evaluación de la conformidad de un servicio por los requisitos que demanda un cliente o usuario.

Se brinda una información relacionada con la situación que presenta el laboratorio de microbiología del ICIDCA en cuanto a su acreditación, con el objetivo de ofrecer los criterios que más afectan la realización de ensayos microbiológicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. NC-ISO/IEC 17025:2006-Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración.
2. ISO/TR 11133-1:2012. Microbiología de los alimentos para consumo humano y animal. Guía para la preparación y producción de medios de cultivo. Parte 1: Guías generales en el aseguramiento de la calidad para la preparación de medios de cultivo en el laboratorio.
3. ISO/TR 11133-1:2012. Microbiología de los alimentos para consumo humano y animal. Guía para la preparación y producción de medios de cultivo. Parte 2: Guías prácticas para las pruebas de desempeño de los medios de cultivo.
4. Camaró, M L.;Martínez, R.; Olmos, P.; Catalá, V.; Ocete, M. D.; Gimeno, C. Validación y verificación analítica de los métodos microbiológicos. Enfermedades infecciosas y microbiología clínica. 33 (7), pp. 31-36, 2015.
5. Manual de inspección de seguridad biológica. Centro Nacional de Seguridad Biológica, 2004.
6. Del Puerto, C. A.; Iglesias, E.; Morales, T.; Baños, N.; Nocedo, M. D.; Carnota, G.; *et al.* Organización y manejo de la colección de cepas de referencia del Instituto Finlay. Vaccimonitor. 18 (1), 2009.