



Vol. 56, No. 3 – octubre - diciembre - 2022

Control foliar de arvenses con sustancias alternativas a los herbicidas de síntesis

Foliar control of weeds with alternative substances to synthetic herbicides

Inoel García-Ruiz, Irenaldo Delgado-Mora, Duvier Gil-González, Erenio González-Suárez y Yordanis Benítez-Trujillo

Importancia del muestreo para las determinaciones de las variables azucareras

Importance of sampling for the determinations of sugar variables

Héctor Jorge-Suárez, Irenaldo Delgado-Mora, José Ramón Gómez-Pérez, Francisco Cuadras-Isaac, Alberto González-Marrero, Cesario Blanco-González, Juan Carlos Rosa-González y Yodilia Dávila-Pérez

Efecto de las nanopartículas de plata (NPs-Ag) en el enraizamiento in vitro de la caña de azúcar (*Saccharum spp.*)

Effect of silver nanoparticles (AgNPs) on in vitro rooting of sugarcane (*Saccharum spp.*)

María del Carmen Hernández-León, Rafael Gómez-Kosky, Edel A. Toledo-Rodríguez, Aydiloide Bernal-Villegas, Mirelis Alejo-Sierra, Jercy Álvarez-Ferreiro, Ada T. Aguiar-Fernández, Midiala Bermúdez-Calimano, Ahmed Valdés-Martínez y Yorexis González-Alfaro

Modificaciones en la estación de evaporación de un central azucarero

Modifications in the evaporation station of a sugar factory

Leopoldo Rostgaard-Beltrán y Raúl Sabadí-Díaz

Evaluación de extractos de semillas de *Moringa oleífera* en la descontaminación de aguas residuales de Fitomás

Evaluation of *Moringa oleífera* seed extracts in the decontamination of Fitomas wastewater

Sandra Isabel Fanego-Hernández, Annabellis Remedios-Gandol, Sara Mendoza-Ferrer, Caridad Curbelo-Hernández y Georgina Michelena-Álvarez

Evaluación de técnicas de deshidratación de etanol para la obtención de etanol anhidro aplicando simulación

Evaluation of anhydrous ethanol techniques using simulation

Brenda Rodríguez-Suárez, Osney Pérez-Ones y Lourdes Zumalacárregui-de Cárdenas

Tratamiento de aguas residuales de una planta de levadura, a partir de filtración por membranas

Treatment of wastewater from a yeast plant through membrane filtration

Yaima Izquierdo-González, Georgina Michelena-Álvarez y Yohana de la Hoz-Izquierdo

Diagnóstico y propuesta de acciones para la reducción de la carga contaminante de los residuales líquidos de un central azucarero

Diagnosis and proposal of actions to reduce the contaminant load of liquid waste from a sugar mill

Yohana De la Hoz-Izquierdo, Georgina Michelena-Álvarez, Yaima Izquierdo-González, Pedro Pérez-Álvarez y Orly López-Delgado

Preprocesamiento de datos sobre gestión de mantenimiento en una industria azucarera

Data preprocessing on maintenance management in a sugar industry

Mauricio Ribas-García

Caracterización actual del mercado internacional del azúcar

Current characterization of the international sugar market

Teresa de la Caridad Ledoux-Ovies

Mantenimiento y renovación de la certificación del Sistema de Gestión de la Calidad del Icidca

Maintenance and renewal of the Icidca Quality Management System Certification

Grisel María Ortega-Arias-Carbajal, Tania García-Martínez, Marlyn Pérez-Rodríguez, Ana Nelis San Juan-Rodríguez, Santiago Estupiñán-Díaz, Armanda Cuesta-Hernández, Sidarma Hernández-Castellanos, Marta González-Martínez y Rocío Jurado-Sánchez

Control foliar de arvenses con sustancias alternativas a los herbicidas de síntesis

Inoel García-Ruiz^{1*}, Irenaldo Delgado-Mora¹, Duvier Gil-González¹, Erenio González-Suárez² y Yordanis Benítez-Trujillo¹

1. Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (ETICA) Centro Villa Clara. Autopista Nacional, km 246, Ranchuelo. Villa Clara, Cuba.

2. Universidad Central Marta Abreu, Las Villas. Carretera Camajuaní, km 5. Santa Clara, Cuba.

* inoel.garcia@inicavc.azcuba.cu

RESUMEN

Los herbicidas de síntesis son muy atractivos porque son efectivos en variadas condiciones de suelo, clima y desarrollo fenológico de los cultivos, lo que conlleva al aumento sostenido de su consumo y los riesgos de contaminación ambiental. El objetivo de la investigación es evaluar el control foliar de arvenses con sustancias alternativas a los herbicidas de síntesis en caña de azúcar. Se realizaron tres experimentos con el hipoclorito de sodio, como sustancia básica y los resultados demuestran que la mezcla de hipoclorito de sodio (4.47 % de cloro), vinagre (3 % de ácido acético), solución acuosa de ácido fosfórico (28.3 %) y jabón líquido a 50, 33 y 5 L ha⁻¹ p.c. (2.25; 1.00 y 1.42 L ha⁻¹ i.a), respectivamente, más 2 L ha⁻¹ p.c. de jabón líquido, alcanzó 81 % de control de un conglomerado de especies de arvenses mono y dicotiledóneas, a los 15 días de la aplicación y fitotoxicidad entre 12 y 50 % de clorosis fuerte o necrosis, al follaje de la caña de azúcar. Sin embargo, debido al riesgo para las personas, por los vapores del hipoclorito de sodio no se aconseja su aplicación en áreas extensivas, hasta tanto nuevas investigaciones demuestren la reducción del riesgo a niveles no peligrosos.

Palabras clave: hipoclorito de sodio, jabón líquido, surfactantes, vinagre.

ABSTRACT

Synthetic herbicides are very attractive because they are effective in various conditions of soil, climate and phenological development of crops, which leads to a sustained increase in consumption and risks of environmental contamination. The objective of the research was to evaluate the foliar control of weeds with alternative substances to synthetic herbicides in sugar cane. Three experiments were carried out with sodium hypochlorite as the basic substance and the results show that the mixture of sodium hypochlorite (4.47 % chlorine), vinegar (3 % acetic acid), aqueous phosphoric acid solution (28.3 %) and soap liquid at 50, 33 and 5 L ha⁻¹ pc (2.25, 1.00 and 1.42 L ha⁻¹ i.a), respectively, plus 2 L ha⁻¹ p.c. of liquid soap, reached 81% control of a conglomerate of species of mono and dicotyledonous weeds 15 days after application and phytotoxicity between 12 and 50 % of chlorosis or necrosis to the sugarcane foliage. However, due to the risk to people from sodium hypochlorite vapors, its application in extensive areas is not recommended, until new research shows the risk reduction to non-dangerous levels.

Key words: sodium hypochlorite, liquid soap, surfactants, vinegar.

INTRODUCCIÓN

Los herbicidas de síntesis son la principal opción para el control de arvenses en el mundo, muy efectivos contra diversas especies en cualquier etapa de desarrollo de disímiles cultivos, con alta productividad y bajo costo por día limpio y esto favorece el incremento de su consumo. Sin embargo;

como toda aplicación de herbicida, impacta de forma negativa en el ambiente, ya sea por la eliminación de especies no blanco, por los riesgos de contaminación de ecosistemas acuáticos o, al crear resistencia a herbicidas aplicados a las arvenses, de forma reiterada (1); de ahí la necesidad de desarrollar alternativas para disminuir los riesgos de contaminación ambiental.

En los sistemas de producción orgánica no se admite el empleo de herbicidas de síntesis, las plantas de cobertura son una opción para controlar las arvenses; sin embargo, esta alternativa requiere de la aplicación de alguna sustancia natural de efecto desecante, en sustitución de los herbicidas de contacto, utilizados en los sistemas convencionales de producción (2).

El desarrollo de la ciencia propicia la constante creación de innumerables productos, con la intención de satisfacer las crecientes necesidades de confort, en la vida cotidiana de las personas, que no excluye la posibilidad de que algunas de esas sustancias solas o mezcladas tengan algún desempeño como herbicida o coadyuvante. En este sentido, (3) especifica que la acción herbicida de toda sustancia aplicada sobre los órganos aéreos de las plantas, está sujeta a dos procesos básicos que definen su entrada a la planta: la retención por las hojas y otras estructuras aéreas y la penetración al interior de las células, para lo cual, el herbicida debe pasar a través de ciertas barreras como la cutícula, con sus capas de cera, cutina y pectinas, así como la pared celular y la membrana plasmática de la célula.

Los herbicidas de síntesis contienen principios activos y otras sustancias coadyuvantes o mejoradoras de su desempeño en el control de las arvenses, entre los cuales están los detergentes que actúan como hipotensores y facilitadores del mojado de la superficie vegetal. Un surfactante es una sustancia capaz de disminuir la tensión superficial en la superficie de contacto entre dos fases y en este sentido, los detergentes actúan como surfactantes porque disminuyen la tensión superficial (4), lo que conduce a pensar que los jabones domésticos pueden sustituir los surfactantes de síntesis, particularmente para mejorar el control de arvenses de sustancias no herbicidas.

El objetivo de la investigación fue evaluar el control foliar de arvenses con sustancias alternativas a los herbicidas de síntesis en caña de azúcar.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar Centro Villa Clara (22° 24h 37m N y 80° 10h 07m W), a 125 msnm, municipio de Ranchuelo, provincia de Villa Clara, Cuba. Se utilizó una estrategia de investigación experimental planificada, fundamentada en que “los necesarios riesgos que implica el desarrollo competitivo pueden minimizarse mediante el estudio de las diferentes manifestaciones de la incertidumbre, empleando los métodos de planificación experimental como herramientas para el desarrollo de la gestión del conocimiento” (5).

Se realizaron dos experimentos en parcelas de campo y otro en macetas entre los meses de junio y septiembre del año 2020. Los dos primeros se realizaron en parcelas de campo de 8 m² de superficie, distribuidas en un diseño completamente aleatorizado con tres réplicas, en una matriz de retoño de caña de azúcar, con tallos de aproximadamente 80 cm de longitud hasta la punta de las hojas. Las especies de arvenses predominantes eran *Rhynchosia minima* L. DC., *Vigna vexillata* L. A. Rich., *Ipomoea* sp., *Cynodon dactylon* L. Pers. y *Macroptilium lathiroides* (L.) Urb., todas en etapa de desarrollo avanzado y estado fisiológico activo, propiciado por los 4.64 y 6.29 mm de precipitaciones promedio diario en los experimentos I y II, respectivamente.

En el experimento I se probaron sustancias de diversa procedencia para determinar su acción herbicida y descartar aquellas con escaso efecto de control de arvenses o ninguno.

Las sustancias principales (SP) estudiadas fueron hipoclorito de sodio (HI) con 4.47 % de cloro, vinagre (VN) producido a partir de guarapo de caña de azúcar con 3 % de ácido acético, ácido

acético (AA) de laboratorio a 100 % de concentración, agua de mar (AM) con 36 g de sal por litro y solución salina (SS) a 10 % de concentración de NaCl y, como sustancias acompañantes (SA) en las mezclas para conformar los tratamientos, el agua de mar (AM) con 36 g de sal por litro, mucílago de guásima (*Guazuma ulmifolia* Lam.) (MG), obtenido a partir de tres fracciones de 10 cm de longitud de una rama de 3 cm de grueso, cuya cáscara junto a las fracciones de ramas descascaradas, se maceraron en un litro de agua durante 48 horas y miel de purga (MP) en solución acuosa al 2 %.

Además, se probaron dos compuestos químicos insolubles en agua, aportados por el Centro de Bioactivos Químicos (CBQ), de la Universidad Central Marta Abreu, de Las Villas. Uno de los productos es el licor de síntesis (Licor), extraído a las 3 horas de la reacción química para producir G-0 y cuya composición era G-0, furfural, nitrometano y etanol. El otro producto fue el residual líquido del proceso de síntesis (PIC), compuesto por etanol, nitrometano, furfural y pequeñas concentraciones de G-0.

Con todas las sustancias mencionadas se concibieron 20 tratamientos (tabla 1) basada en una solución de 80 % de la SP y 20 % de la SA, excepto los dos productos del CBQ que, primero fueron disueltas en alcohol etílico hasta obtener soluciones alcohólicas al 50 % de concentración y, después, disueltas en agua, a partes iguales, para lograr sendos caldos de aplicación a 25 %. Además, se incluyó un control absoluto (CA), con fines de comparación.

Tabla 1. Tratamientos experimento I

No.	Tratamientos	Concentración (%)		No.	Tratamientos	Concentración (%)	
		SP	SA			SP	SA
1	CA	-	-	11	AM	100	-
2	HI	100	-	12	AM+MP	80	20
3	HI+SS	80	20	13	AM+MG	80	20
4	HI+AM	80	20	14	SS	100	-
5	VN	100	-	15	SS+MP	80	20
6	VN+MP	80	20	16	SS+MG	80	20
7	VN+MG	80	20	17	VN+AM+MP	80	10, 10
8	AA	100	-	18	VN+AM+MG	80	10, 10
9	AA+MP	80	20	19	PIC	50	-
10	AA+MG	80	20	20	Licor	50	-

CA: Control absoluto, HI: hipoclorito de sodio (4.47 %) SS: Solución salina (10 %), AM: Agua de mar, VN: vinagre (3 %), MP: Solución acuosa de miel de purga (2 %), MG: Mucílago de guásima, AA: Ácido acético (100 %), PIC y Licor: soluciones alcohólicas (25 %) de sustancias extraídas durante la producción del fungicida G-0.

En el experimento II, los tratamientos se conformaron con el hipoclorito de sodio (HI) a 4.47 % de concentración de cloro, como sustancia principal (SP), que se aplicó puro y a diferentes concentraciones, al mezclarlo con las sustancias acompañantes (SA): agua común (AC), vinagre (VN), solución salina al 10 % de NaCl (SS), mucílago de guásima (*Guazuma ulmifolia* Lam.) (MG), obtenido a partir de tres fracciones de 10 cm de longitud, de una rama de 3 cm de grueso, cuya cáscara junto a las fracciones de ramas descascaradas, se maceraron en un litro de agua durante 48 horas, así como miel de purga (MP) en solución acuosa al 10 y 20 %. Además, se incluyó un control absoluto (CA) y el referente estándar (RE) de Lifeline CS 28 a 1.1 L ha⁻¹ + solución acuosa de ácido fosfórico al 28.3 % (tabla 2).

Tabla 2. Tratamientos experimento II

No.	Tratamientos	Concentración (%)		No.	Tratamientos	Concentración (%)	
		SP	SA			SP	SA
1	CA	-	-	13	HI+SS	50	50
2	RE	-	-	14	HI+SS	25	75
3	HI	100	-	15	HI+VN+AC	33	33, 33
4	VN	100	-	16	HI+VN+SS	33	33, 33
5	SS	100	-	17	HI+VN+MP	33	33, 33
6	HI+AC	75	25	18	HI+VN+MG	33	33, 33
7	HI+AC	50	50	19	HI+VN+AC+MP	25	25,25,25
8	HI+AC	25	75	20	HI+VN+ AC+MG	25	25,25,25
9	HI+VN	75	25	21	HI+VN+SS+MP	25	25,25,25
10	HI+VN	50	50	22	HI+VN+SS+MG	25	25,25,25
11	HI+VN	25	75	23	MP	10	-
12	HI+SS	75	25	24	MP	20	-

CA: Control absoluto, RE: control de referencia con herbicida de síntesis Lifeline CS 28 acidificado con ácido fosfórico (28.3 %), HI: hipoclorito de sodio (4.47 %), VN: vinagre (3 %), SS: Solución salina (10 %), AC: agua común, MG: Mucílago de guásima MP: Solución acuosa de miel de purga).

El experimento III se realizó en macetas de 4500 cm³ de volumen, 5 réplicas y riego tres veces a la semana, con un litro de agua por maceta. La cantidad de producto a aplicar por tratamiento se calculó sobre la base de una aplicación a toda el área (L ha⁻¹) y no en términos de concentración, como en los ensayos I y II. El hipoclorito de sodio (HI) con 4.47 % de cloro se mantuvo como producto base, además del vinagre (VN), ácido fosfórico a 28.3 % (AF) y jabón líquido (JL), así como el control absoluto y Lifeline CS 28 + AF SA 28.3 % a 1.1 + 0.2 L ha⁻¹, respectivamente, con los cuales se conformaron 8 tratamientos (tabla 3).

Tabla 3. Tratamientos experimento III

No.	Tratamientos	Dosis (L ha ⁻¹)	
		p.c.	i.a.
1	Control absoluto	-	-
2	Lifeline CS 28 + AF	1.1+0.2	0.31+0.06
3	HI + VN +AF	10+10+0.2	0.45+0.30+0.06
4	HI + VN +AF	50+33+5	2.24+1.00+1.42
5	HI + VN + AF + JL	10+10+0.2+1	0.45+0.30+0.06+1
6	HI + VN + AF + JL	50+33+5+1	2.24+1.00+1.42+1
7	HI + VN + AF + JL	10+10+0.2+2	0.45+0.30+0.06+2
8	HI + VN + AF + JL	50+33+5+2	2.24+1.00+1.42+2

HI: hipoclorito de sodio(4.47 %), VN: vinagre(3 %), AF: solución acuosa de ácido fosfórico(28.3 %) JL: jabón líquido comercial.

Las especies de arvenses predominantes en el momento de la aplicación eran *Croton lobatus* L., *Rhynchosia minima* (L.) DC., *Chamaesyce hyssopifolia* (L.) Small., *Acalypha alopecuroides* Jacq., *Sida acuta* Burm. f. y *Leptochloa panicea* (Retz.) Ohwi, con tamaño promedio de 15 cm.

Los tratamientos en los tres ensayos se aplicaron con mochila manual de 16 L de capacidad, boquilla deflectora DT-3.0, gasto de 1.458 L min⁻¹, a presión de 1 bar, ancho de trabajo de 1.60 m y solución final de 200 L ha⁻¹. Durante la aplicación de los tratamientos en los experimentos I y II, de forma intencionada se asperjó el follaje de la caña de azúcar en una longitud de surco de 100 cm, para comprobar su agresividad al cultivo. El control de las arvenses en los tres ensayos se estimó periódicamente de forma visual (6), donde 0 % equivale a cero síntomas de control y 100 % a la planta muerta, en comparación con el control absoluto. En iguales momentos y en los ensayos I y II se evaluó la fitotoxicidad a la caña de azúcar por la escala propuesta por la Sociedad Europea de Investigaciones de Malezas (7).

Procesamiento de los datos

Los datos de porcentaje de control de arvenses, por parcelas, se procesaron con la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis, con el programa InfoStat 1.2, para un valor de referencia $p < 0.05$ para asumir la diferencia significativa entre los tratamientos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el experimento I, el HI comercial a 4.47 % de cloro, aplicado puro alcanzó 60 % de control a los 10 días de la aplicación, efectividad que se redujo hasta 50 y 35 % a los 15 y 25 días, respectivamente. Las mezclas de HI con solución salina (SS) o agua de mar (AM) fueron menos efectivas porque disminuyó la concentración de HI en el caldo de aplicación. El hipoclorito de sodio causó fitotoxicidad entre 4 y 7 grados a la caña de azúcar, equivalente a clorosis y necrosis entre 12.5 y 50 % del follaje, a los 15 días de la aplicación (tabla 4).

Tabla 4. Tratamientos más efectivos de control de arvenses y fitotoxicidad al cultivo

Tratamientos	Concentración (%)	Control (%)				Fitotoxicidad (%)			
		5	10	15	25	5	10	15	25
HI	100	32	60 a	50 a	35 a	4	7	5	4
HI + SS	80 + 20	37	40 ab	30 ab	23 ab	4	7	5	4
HI + AM	80 + 20	23	39 ab	19 bc	13 bc	4	7	5	4
AA	100	14	11 bc	6 c	0 c	0	0	0	0
AA + MP	80 + 20	22	8 bc	4 c	0 c	0	0	0	0
AA + MG	80 + 20	14	6 c	3 c	0 c	0	0	0	0
p valor	-	0.099	0.016	0.018	0.015	-	-	-	-

HI: Hipoclorito de sodio, SS: Solución salina al 10 %, AM: Agua de mar, AA: Ácido acético,

MP: Solución acuosa de miel de purga al 2 %, MG: Mucílago de guásima.

Letras distintas por columnas indican diferencia significativa Kruskal Wallis $p < 0.05$

El ácido acético (AA) aplicado, solo o en mezcla con solución acuosa de miel de purga al 2 % (MP) o mucílago de guásima (MG), no ejerció efecto de control importante sobre las arvenses ni causaron fitotoxicidad al follaje de la caña de azúcar. Los demás tratamientos estudiados como el VN (3 % de ácido acético), agua de mar (AM) y solución salina (SS) al 10 % de NaCl, aplicados solos o en mezclas con solución acuosa de miel de purga al 2 % (MP) o mucílago de guásima (MG), así como las soluciones alcohólicas de Licor y PIC no fueron efectivos en el control de arvenses.

En el experimento II, el control de arvenses no tuvo diferencia significativa entre tratamientos a los 5 días de la aplicación ($p=0.066$); sin embargo, ya se podían apreciar dos aspectos interesantes: el primero asociado a la pérdida progresiva de la efectividad del HI, al disminuir la concentración de cloro en el caldo de aplicación en las mezclas de 25, 50 y 75 % de agua, en comparación con el producto puro; el segundo aspecto interesante fue el rápido efecto de control de HI que fue superior a Lifeline CS 28, un herbicida sintético de contacto, de muy rápida acción de control de arvenses en caña de azúcar en Cuba.

La mezcla de HI con VN, a proporciones respectivas de 75 y 25 % (HI75+VN25) fue la más efectiva a los 10 días de la aplicación con 80 % de control, pero también la mezcla de HI al 75 % y agua al 25 % (HI75+AC25) alcanzó buen resultado con 70 %, muy similar al HI puro y ligeramente mejor que HI+VN y HI + agua, ambas mezclas a partes iguales de sus componentes (figura 1).

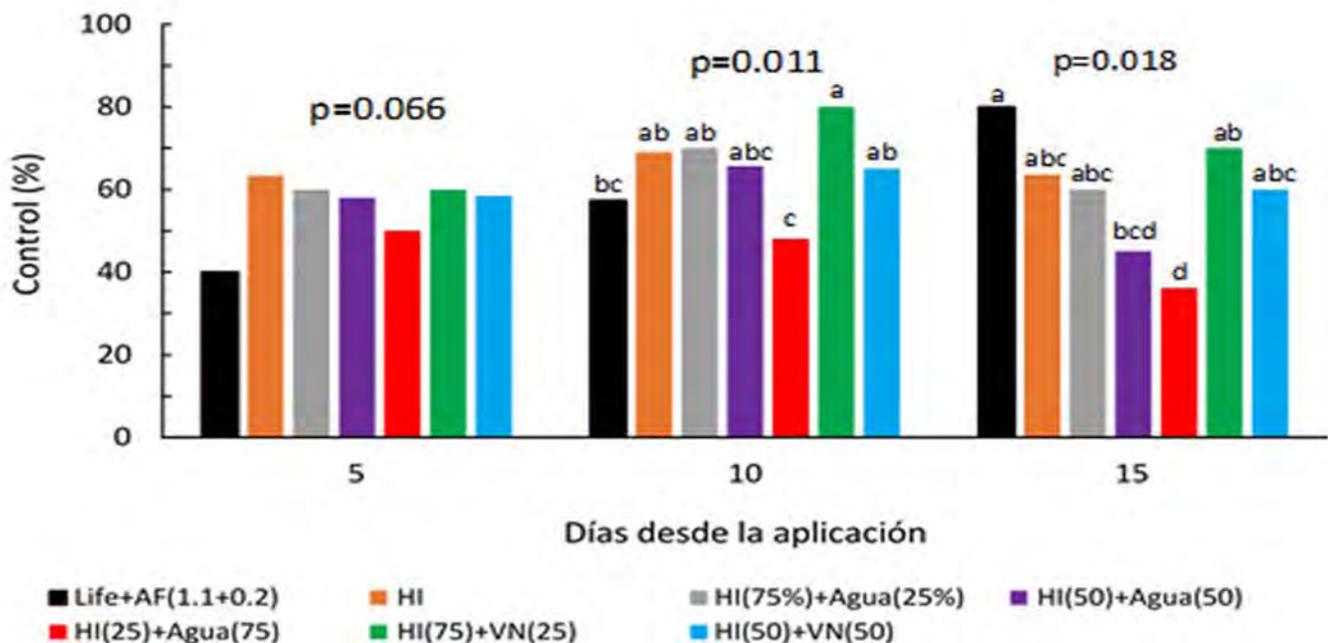


Figura 1. Control de arvenses de los tratamientos más efectivos. Letras distintas indican diferencia significativa Kruskal Wallis $p < 0.05$. Life+AF: Lifeline CS 28+ácido fosfórico (28.3 %), HI: hipoclorito de sodio (4.47 %), VN: vinagre (3 %).

A los 15 días el tratamiento de HI75+VN25 con 70 % de control se mantenía como la mezcla más efectiva en el control de las arvenses, mientras el estándar de Lifeline CS 28 a 1.1 L ha⁻¹ + AF SA 28.3 a 0.2 L ha⁻¹ alcanzaba 80 % de control, la fitotoxicidad fue de grado 7 y 4 con necrosis en el 50 y 20 % del follaje de la caña de azúcar, respectivamente (figuras 2 y 3).

Los resultados de los experimentos I y II demuestran que el HI comercial con una concentración de cloro de 4.47 %, fue la única sustancia que aplicada a 75 y 100 % de concentración, tuvo acción herbicida suficiente para necrosar fundamentalmente, el tejido vegetal de las hojas y lograr control parcial y temporal de las arvenses, muy similar a lo que sucede cuando se aplican herbicidas de síntesis de contacto, en los cuales, luego de un rápido control, ocurre la recuperación de las arvenses. Estos resultados en los que se demuestra la ineficacia para controlar arvenses, con concentraciones del 50 % o inferiores de HI en el caldo de aplicación, sustentan los obtenidos por (8) en México, quienes aplicaron hipoclorito de sodio comercial a concentraciones de 3 y 10 % y no eliminaron la *Tillandsia recurvata* (L.) L., planta epífita que provoca severos daños en diferentes especies arbóreas de importancia forestal en muchos países.

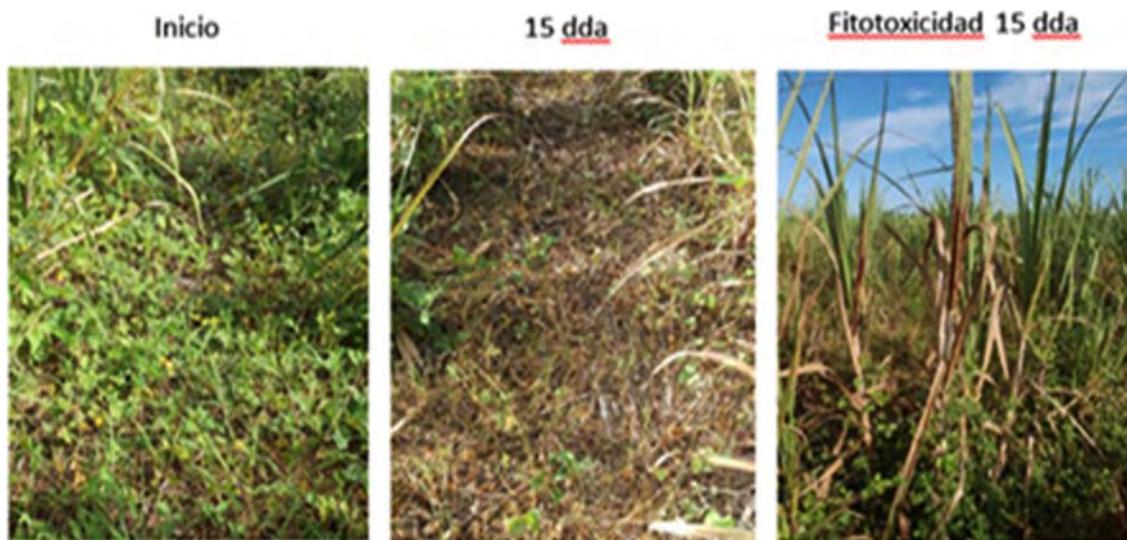


Figura 2. Tratamiento de HI 75 % + VN 25 %.

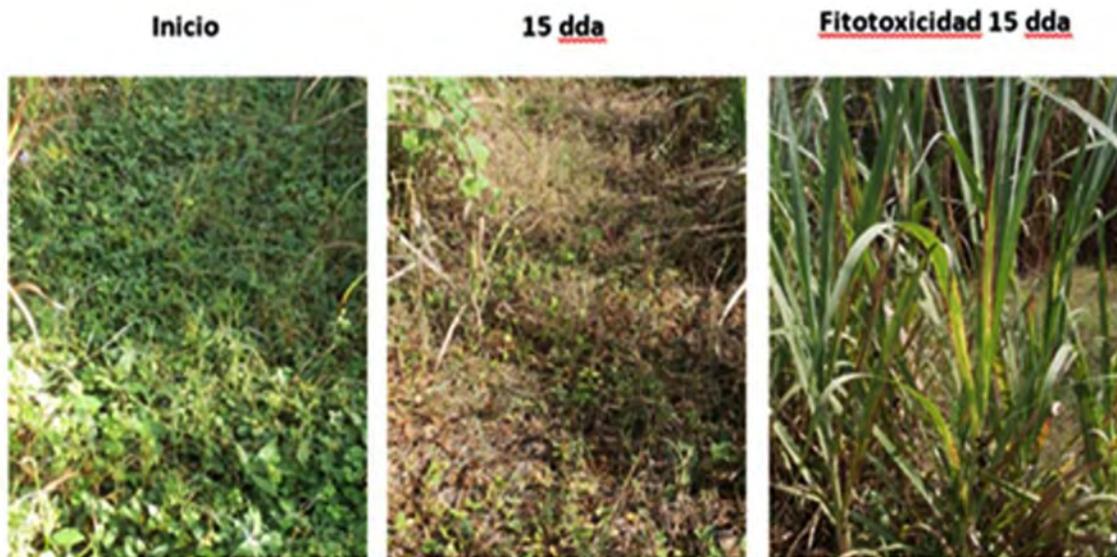


Figura 3. Tratamiento estándar de Lifeline CS 28 (1.1) + AF SA 28.3 (0.2).

El vinagre aplicado puro no fue efectivo para controlar las arvenses, en ninguno de los dos ensayos e incluso, en los tratamientos en los que fue mezclado con HI, el incremento de la efectividad respecto a la mezcla de HI con agua no superó el 10 % de control. Tal parece que la baja concentración de ácido acético (3 %) del vinagre, utilizado en los experimentos, equivalente a 6 L ha^{-1} de ácido acético ha^{-1} , no fue suficiente para lograr buena efectividad de control. Resultados similares obtuvieron (9) en plantaciones de la vid en España en las que dosis de 18 y 36 L ha^{-1} de ácido acético también fueron insuficientes porque sólo alcanzaron 22 y 44 % de control, respectivamente, de una flora de arvenses con 1 y 4 hojas por planta como promedio. De igual forma (10), en experimentos de campo con tres aplicaciones de vinagre a 40 L ha^{-1} , espaciadas cada 15 días, no rebasó el 40 % de control de arvenses de hoja ancha y estrecha.

Por el contrario, (2) obtuvieron controles de 95 % o superiores del follaje de avena negra (*Avena strigosa Schreb.*), utilizada como cultivo de cobertura previo a la siembra de maíz orgánico, con una aplicación de vinagre triple (12.5 % de ácido acético), a dosis extraordinariamente altas de 560 y 1120 L ha^{-1} , equivalentes a 70 y 140 L ha^{-1} de ácido acético. En consecuencia, una de las formas para lograr controlar las arvenses, con vinagre, es la aplicación de dosis altas, lo cual puede pare-

cer contraproducente en determinados sistemas de producción de grandes extensiones; entonces, mezclarlo con productos más cáusticos pudiera fortalecer la acción quemante del caldo, como demuestran los resultados del experimento II al mezclarlo con HI.

En el experimento III, la mezcla de HI + VN + AF SA 28.3 + JL, a dosis respectivas de 50, 33, 5 y 2 L ha⁻¹ p.c., (2.25; 1.00 y 1.42 L ha⁻¹ i.a.), más 2 L ha⁻¹ p.c. de JL, fue el tratamiento más efectivo en los primeros 15 días (figura 4), con valores cercanos al 80 % de control de *Croton lobatus* L., *Rhynchosia minima* (L.) DC., *Chamaesyce hyssopifolia* (L.) Small., *Acalypha alopecuroides* Jacq., *Sida acuta* Burm. f. y *Leptochloa panicea* (Retz.) Ohwi, con tamaño promedio de 15 cm.

La adición de 2 L ha⁻¹ de jabón líquido aumentó el control de arvenses en 36 %, respecto al caldo sin detergente líquido y 31 % cuando la dosis bajó a 1 L ha⁻¹, lo que demuestra la importancia de agregar sustancias hipotensoras como los jabones domésticos, como una alternativa para disminuir la tensión superficial del caldo de aplicación, aumentar el contacto de las gotas con la superficie foliar y la retención del producto por hoja. La mejora de la efectividad de control a través de la mezcla de varios productos alternativos, coincide con (11), quienes prepararon un caldo a base de zumo de Figue (*Furcraea andina* Trel.) a 66 %, vinagre y cloruro de sodio, ambos a 17 % y lograron niveles de control del 98 % de las arvenses.

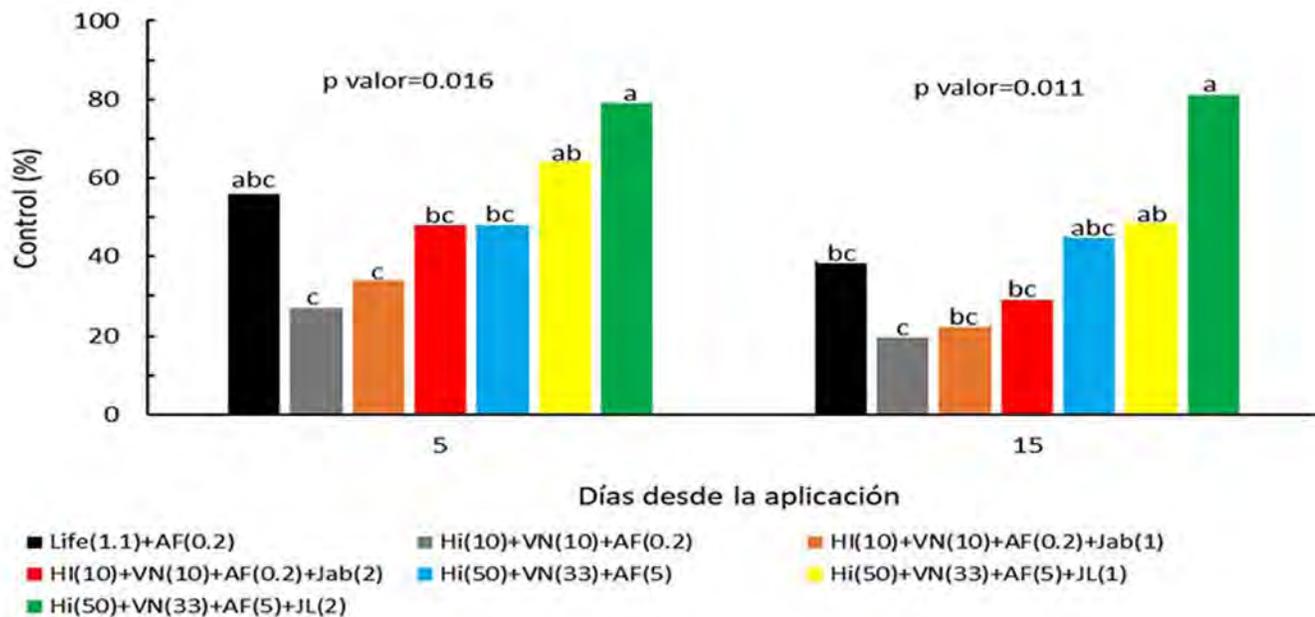


Figura 4. Control de arvenses por tratamientos, según los días, desde la aplicación.

Letras distintas indican diferencia significativa Kruskal Wallis $p < 0.05$ Life+AF:

Lifeline CS 28+ácido fosfórico (28.3 %), HI: hipoclorito de sodio (4.47 %),

VN: Vinagre (3 %), JL: Jabón líquido.

La especie monocotiledónea *L. panicea* (Retz.) Ohwi mostró resistencia parcial a HI+VN+AF SA 28.3+JL (50+33+5+2) y a Lifeline CS 28 + AF SA 28.3 (1.1+0.2), aunque en el primero sólo sobrevivieron las plantas de mayor tamaño, en unión de la dicotiledónea *R. mínima* (figura 5).

Observe el buen control de *A. alopecuroides* Jacq y *Sida acuta* Burm. f. y de *R. mínima* < 5 cm, así como el control parcial de *L. panicea* y *R. minima* > de 5 cm de longitud; a diferencia del tratamiento estándar en la que luego de una clorosis fuerte, a los 5 días, la vitalidad tanto de las especies de hoja ancha como estrecha, aumentó notablemente a los 15 días (figura 6).

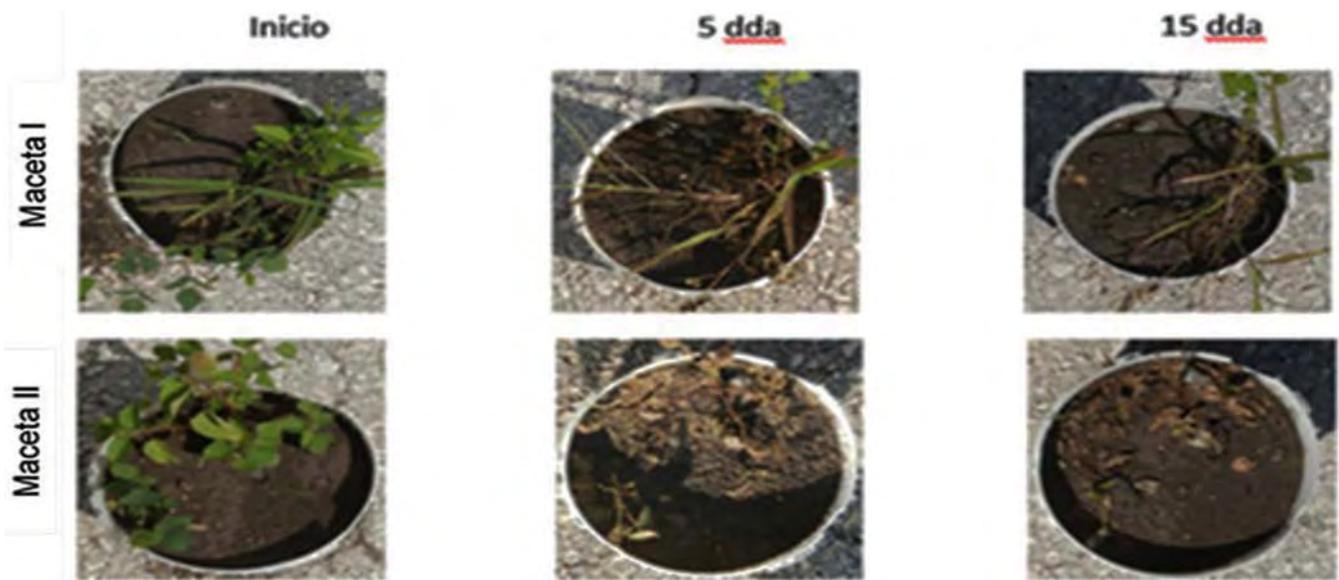


Figura 5. Tratamiento de HI(50) + VN(33) + AF SA 28.3(5) + Jabón líquido(2).

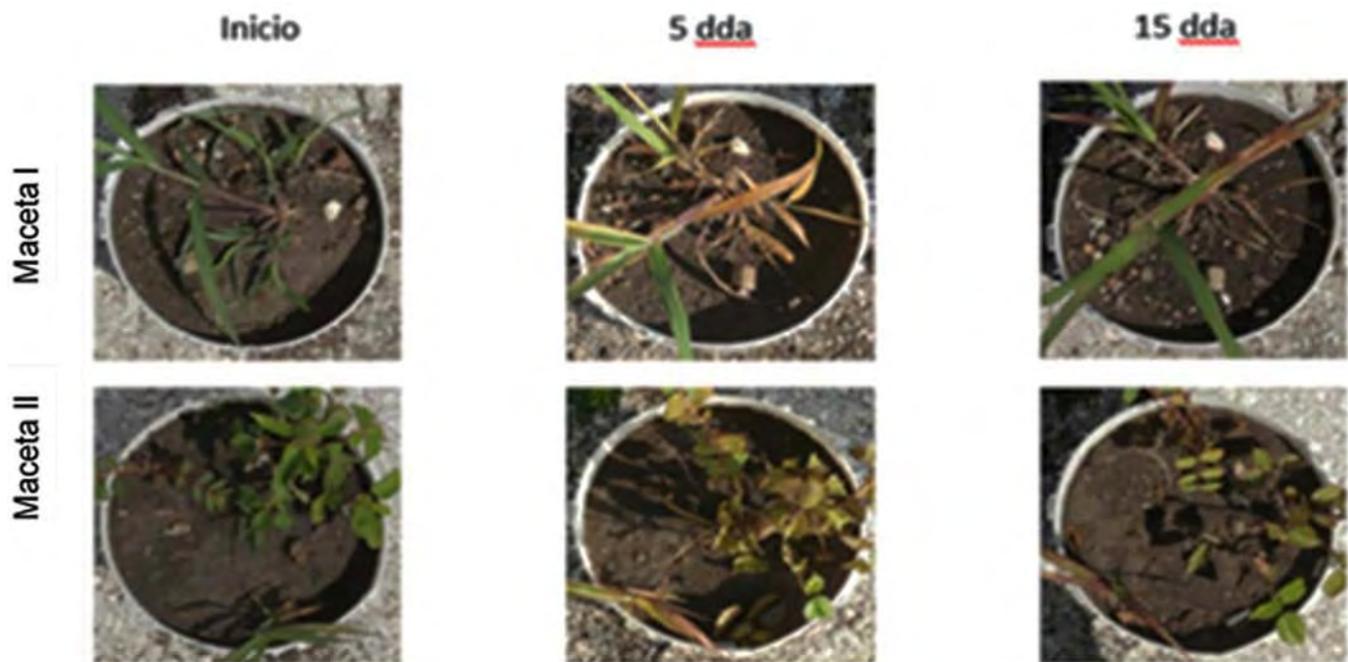


Figura 6. Tratamiento estándar de Lifeline CS 28 (1.1) + AF SA 28.3 (0.2).

Por último, la baja concentración del HI (4.47 %) y del VN (3.0 %) constituye una importante limitación para su aplicación extensiva porque, para conseguir dosis de ingrediente activo letales para las arvenses, son necesarias grandes cantidades de ambos productos comerciales. En el caso específico del HI y VN empleados en los ensayos, la cantidad de producto comercial representa el 42 % de una solución final de 200 L ha⁻¹; o sea, casi la mitad del caldo aplicado por jornada son sustancias que requieren su transportación individual, lo que complejiza el proceso e incrementa el costo y el riesgo de inhalación de los vapores de HI. En consecuencia, no es aconsejable utilizar la mezcla de HI+VN+SA AF 28.3+JL en aplicaciones extensivas, hasta que nuevas investigaciones permitan proponer alternativas de manipulación con niveles de riesgo no peligrosos para las personas.

CONCLUSIONES

- La mezcla de hipoclorito de sodio, vinagre y solución acuosa de ácido fosfórico a dosis de 2.25; 1.00 y 1.42 L ha⁻¹ i.a., equivalente a 50, 33 y 5 L ha⁻¹ p.c., respectivamente, más 2 L ha⁻¹ adicionales de jabón líquido, tuvo similar efectividad en el control de arvenses anuales que el herbicida de síntesis Lifeline CS 28 a 1.1 L ha⁻¹ acidificado con AF a 0.2 L ha⁻¹.
- El tratamiento a base de hipoclorito de sodio, vinagre, solución acuosa de ácido fosfórico y jabón líquido, posee acción herbicida por contacto sobre especies de hoja ancha y estrecha, de tamaño inferior a 15 y 10 cm de longitud, respectivamente.
- El vinagre, solución salina al 10 %, agua de mar y las soluciones alcohólicas al 25 % de los productos Licor y PIC, aplicados solos o mezclados con mucílago de *Guazuma ulmifolia Lam.* o solución acuosa de miel de purga a 2 %, no fueron efectivas en el control de arvenses.
- La baja concentración del hipoclorito de sodio (4.47 %) y vinagre (3 %) requieren elevadas cantidades de ambos productos comerciales, para obtener dosis de ingrediente activo letales para las arvenses, constituye una limitante para su uso en áreas extensivas.
- La manipulación y reacción química del hipoclorito de sodio, vinagre y solución acuosa de ácido fosfórico desprende vapores que pueden afectar la salud humana.

RECOMENDACIONES

No utilizar la mezcla de hipoclorito de sodio, vinagre, solución acuosa de ácido fosfórico y jabón líquido en aplicaciones extensivas, hasta tanto nuevas investigaciones demuestren la reducción de riesgos a niveles no peligrosos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Reyes G., Chaparro-Giraldo A. y Ávila K. (2010). Efecto ambiental de agroquímicos y maquinaria agrícola en cultivos transgénicos y convencionales de algodón. Efecto ambiental en cultivos transgénicos de algodón. Rev. Colomb. Biotecnol. Vol. XII No. 2 Diciembre 2010 151-162.
2. Montero Cedeño S. L., Cardoso Galvão J. C., Cañarte Bermúdez E. G. (2017). Vinagre triple 12.5 %: herbicida natural en siembra directa de maíz (*Zea mays*) orgánico. ESPAMCIENCIA 8(2), 2017, 13-21.
3. Anzalone A. (2007). Herbicidas: Modos y mecanismos de acción en plantas. Capítulo II. Absorción y translocación de herbicidas en las plantas, 2007, p 12-28. Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado, Departamento de Fitotecnia, Barquisimeto, Venezuela.
4. Goñi F. M., Alonso A. (2021). Detergentes: de los principios físicos a las aplicaciones biofarmacéuticas (o por qué prevenimos la covid-19 con agua y jabón). An. Real Acad. Farm. Vol. 87. N°1, 2021, 53-96.
5. Concepción Toledo, D. N., González Suárez, E., López Bastida, E. J., & Ramos Miranda, F. (2021). Gestión del conocimiento en la proyección científica de la industria química mediante diseños experimentales. Revista Universidad y Sociedad, 13(2), 2021, 446-451.
6. Laycock, D.S. (2004). Manual for Field Trials in Crop Protection, Syngenta, Basilea, p. 45-54. https://books.google.com/cu/books/about/Manual_for_Field_Trials_in_Crop_Protecti.
7. Zuaznábar Zuaznábar R., Martínez Ramírez R., Rodríguez Estrada L., Fernández Martínez C., León Núñez P., Gallego Domínguez R., García Ruiz I., Díaz Díaz J. C. (2019). Manual de

- procedimiento del SERCIM. Servicio de control integral de malezas. Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar., La Habana. 41 p.
8. Beltrán S., Loredó C., Rosales C. A., Gámez H.G. (2020). Control de Paxtle (*Tillandsia recurvata* (L.) L.) en mezquiteras de zonas áridas y semiáridas. Memoria XLI Congreso Nacional de la Ciencia de la Maleza. Sociedad Mexicana de la Ciencia de la Maleza (SOMECINA), 2020 p 71-79.
 9. Roig, G., Montull J. M., Llenes J. M., Taberner A. (2017). Herbicidas alternativos en viña ecológica. 381XVI Congreso de la Sociedad Española de Malherbología. Pamplona-Iruña 2017, España. 381-384. ISBN: 978-84-9769-327-1.
 10. Granda Coloma M. A. (2017). Estudio de dos herbicidas ecológicos con tres diferentes dosis, en el control de las malezas, para el cultivo de Pitahaya roja (*Hylocereus undatus* Haworth). Tesis Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Guayaquil. Ecuador. 2017. 88 pp.
 11. Sánchez Avendaño, D., Abril Ospina D. Pabón González J. P. (2019). Evaluación de la actividad herbicida de biopreparado a base de Fique (*Furcraea andina* Trel.) fermentado, ácido acético y cloruro de sodio en arvenses de potrero en instalaciones del SENA-CAFEC. Revista Innova Cafec, vol 1 - Innovación sostenible y sustentable. 2019. 18-28.

Importancia del muestreo para las determinaciones de las variables azucareras

Héctor Jorge-Suárez^{1*}, Irenaldo Delgado-Mora¹, José Ramón Gómez-Pérez¹, Francisco Cuadras-Isaac¹, Alberto González-Marrero¹, Cesario Blanco-González¹, Juan Carlos Rosa-González¹ y Yodilia Dávila-Pérez²

1. Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA)

Carretera Cujae, Km 21/5. Municipio Boyeros, La Habana.

2. Empresa Agroindustrial Azucarera Ifraín Alfonso. Municipio Ranchuelo. Provincia de Villa Clara.

* hector.jorge@inica.azcuba.cu

RESUMEN

Fueron estudiados seis experimentos, tres para la comparación del muestreo tradicional y el muestreo por área, y tres para determinar el tamaño de muestra necesario en la estimación del Porcentaje de pol en caña (PPC), en ambos casos se evaluaron las cepas de caña planta (ciclo B y C) y retoños. Posteriormente, para la comparación de las variables azucareras los estudios se realizaron en Espartaco, Jovellanos y en el Bloque experimental (BE) de Sagua la Grande, en ensayos de ciclo C. Los laboratorios utilizados fueron, en el primer caso, el de la antigua EPICA-Cienfuegos, en el segundo los del INICA-Villa Clara y el BE de Sagua. En el caso de las empresas agroindustriales azucareras (EAA) se recurrió al laboratorio de Ifraín Alfonso (se compararon con las muestras de Espartaco) y el de la EAA Héctor Rodríguez (se compararon con las del BE de Sagua la Grande), las muestras del INICA-Matanzas se procesaron en la EAA Jesús Rabí y se utilizó la desfibradora y la prensa. Los análisis estadísticos empleados para las variables Porcentaje de pol en caña (PPC), Porcentaje de pol en jugo (PPJ) y Porcentaje de fibra en caña (PFC) fueron Comparación de medias, Regresión, Muestreo aleatorio estratificado (M.A.E.), Análisis de varianza simple, Análisis de Conglomerados (para el PPC) y de Varianza bifactorial de efectos aleatorios, para el Porcentaje de fibra en caña (PFC). Se obtuvo como resultado que el muestreo por área es más representativo que el muestreo tradicional, que el M.A.E permitió estimar el tamaño de muestra para el PPC. La comparación de las diferentes variables de calidad azucarera demostraron marcadas diferencias entre los métodos empleados (Laboratorios del INICA y de las EAA) y el PFC tuvo una alta contribución ambiental.

Palabras clave: muestreo, porcentaje de pol en caña y porcentaje de fibra en caña.

ABSTRACT

Six experiments were studied, three for the comparison of the traditional sampling and the sampling by area, and three to determine the sample size necessary in the estimation of the PPC, in both cases the plant cane strains (cycle B and C) and suckers. Subsequently, for the comparison of the sugar variables, the studies were carried out in Espartaco, Jovellanos and in the Experimental Block (BE) of Sagua la Grande in Cycle C tests. The laboratories used were in the first case the old EPICA-Cienfuegos while in the second those of the INICA Villa Clara and the BE of Sagua la Grande. In the case of the EAA, that of the Ifraín Alfonso laboratory was used (comparing with the Espartaco samples), and that of the Héctor Rodríguez EAA (comparing with that of the Sagua la Grande BE), the INICA-Matanzas samples were processed in the EAIA Jesús Rabí using the shredder and the press. The statistical analyzes used for the variables PPC, PPJ and PFC, were comparison of means, regression, M.A.E, analysis of simple variance, analysis of Conglomerates (for him PPC) and random effects bifactorial variance (for him PFC). It was obtained as a result that the sampling by area is more representative than the traditional sampling, that the M.A.E allowed estimating the sample size for the PPC. The comparison of the different sugar quality variables showed marked differences between the methods used (INICA and EAIA Laboratories) and the PFC had a high environmental contribution.

Key words: sampling, percentage of pol in cane and percentage of fiber in cane.

INTRODUCCIÓN

El método de muestreo a emplear ha sido un tema muy discutido en la evaluación de los experimentos del cultivo de la caña de azúcar, por la poca representatividad y correspondencia del muestreo tradicional, de cuatro muestras de cinco tallos, por parcelas, con la forma real en que es cosechada y procesada la caña para la industria (1).

En los últimos años el Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA), ha venido trabajando en el muestreo por área con el propósito de dar respuesta a esta problemática. No obstante, un problema aún vigente es el diseño de muestreo a utilizar, que permite calcular el tamaño de muestra a tomar con precisión y confiabilidad (2).

Actualmente, el procesamiento de las muestras para la determinación de las variables del contenido azucarero, entre los laboratorios del INICA y las empresas agroindustriales azucareras (EAA) difiere en la tecnología a emplear, por lo que se hace necesario compararlas, con la intención de conocer la posible relación entre los resultados de ambos métodos de extracción del jugo.

El objetivo es mostrar cómo la investigación les ha dado respuesta a las distintas interrogantes de los productores, en cuanto al método de muestreo a utilizar para las variables de la calidad del jugo y tamaño de muestra en los experimentos de variedades de caña de azúcar. También hace una comparación entre los diferentes métodos de análisis del INICA y las EAA, con la finalidad de realizar recomendaciones ajustadas a la realidad azucarera cubana.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se estudiaron seis experimentos: tres para comparar los resultados del muestreo de cuatro muestras, de cinco tallos (muestreo tradicional), con el muestreo por área (cuatro y un metro), en la zafra 1988-1989; y tres, a los que se les aplicó, con el diseño de muestreo aleatorio estratificado, para determinar el tamaño de muestra necesario en la estimación del Porcentaje de pol en caña (PPC). En ambos casos, se evaluaron las cepas de caña planta (dos de ciclo B, con edades de 20 y 19 meses y dos de ciclo C, con edades de 18 meses); y dos de retoño, con 13 meses de edad en la zafra 1990-1991. Los experimentos de regionalización de variedades de ciclo B se corresponden con estudios de primavera plantados en mayo-junio y cosechados a inicios de zafra (noviembre-enero), con 18 a 20 meses de edad, los ensayos de ciclo C son estudios de frío plantados de julio a octubre y cosechados entre febrero y mediados de marzo, de 16 a 19 meses de edad. Los retoños de ambos ciclos (B y C) se cosechan con edades entre 12 y 14 meses, en los meses de zafra que se programen.

Para comparar la forma de muestreo (tradicional y por área), los estudios se efectuaron en los suelos Ferralíticos rojo, en cepas de caña planta, como primavera de ciclo largo (ciclo B) de la localidad La Esperanza y en Pardos sin carbonato de frío (ciclo C) y retoño, en Espartaco, provincia de Cienfuegos. La determinación del tamaño de muestra, se realizó en ensayos de los suelos Pardos con carbonato y Pardos sin carbonato de las localidades de Ramón Balboa y Espartaco de este territorio, en los ciclos B, C y retoño

Para la comparación de las variables azucareras, los estudios se realizaron en los Bloques Experimentales de Espartaco-Cienfuegos, en suelos Ferralíticos rojo del INICA-Matanzas (Jovellanos) y Villa Clara (Bloque experimental (BE) de Sagua la Grande), con suelos Oscuros plásticos. Los ensayos fueron plantados en el mes de agosto de 2020 (Frío, ciclo C) y evaluados en febrero, con 18 meses de edad (caña planta), en la zafra 2021-2022. La clasificación de suelos empleada fue la reportada por Hernández, *et al.*(3).

Los laboratorios utilizados para la comparación de las muestras fueron los pertenecientes al INICA en la antigua estación de Cienfuegos; de Jovellanos en Matanzas; así como en Ranchuelo y Sagua la Grande, del INICA-Villa Clara. En el caso de las empresas agroindustriales azucareras

(EAA), se empleó el laboratorio de Ifraín Alfonso, para comparar 48 muestras procesadas también por el INICA en Ranchuelo y el de la EAA Héctor Rodríguez, para comparar 17 muestras procesadas, además, por el INICA en Sagua la Grande.

Las 48 muestras de la estación de Jovellanos fueron procesadas por la desfibradora y la prensa, de la EAA Jesús Rabí de Matanzas, este estudio igualmente fue plantado en agosto y evaluado en febrero con igual edad (18 meses).

Se realizó una comparación entre el muestreo tradicional, de cuatro muestras de cinco tallos por parcela y el muestreo por área (una muestra de cuatro metros por parcela en el experimento de ciclo B y una muestra de un metro por parcela en los dos restantes). Las medias de cada genotipo en los métodos utilizados fueron comparadas mediante la prueba de T de Student.

Posteriormente, se determinaron los estadígrafos siguientes: Población total por cultivar (N), Cantidad de muestras realizadas a cada variedad (n), Media (X), Varianza (S_i^2) y Coeficiente de variación (CV) para el empleo del Muestreo aleatorio estratificado (M.A.E.), con distribución de Neyman. El tamaño de la muestra general o muestra necesaria (\bar{n}) para el Porcentaje de pol en caña, se calculó según Sheaffer (4).

La precisión (d) fue de 0.3 grados de pol para el Porcentaje de pol en caña, con una confiabilidad del 85 %. Las variedades fueron consideradas como estratos ya que son individuos genéticamente diferentes y con respuestas agroazucareras diversas.

La comparación de las variables de la calidad del jugo (Porcentaje de pol en jugo (PPJ) y Porcentaje de pol en caña (PPC) determinadas a través del molino tradicional y de la desfibradora, conjuntamente con la prensa, se analizaron mediante la prueba de T de Student; además, se realizaron Análisis de regresión para las variables entre ambos métodos. Se desarrolló, asimismo, un Análisis de varianza simple y de Conglomerados (Cluster Analysis), para determinar la coincidencia o no, en el agrupamiento de los cultivares, en la variable Porcentaje de pol en caña entre los resultados de los laboratorios de las EAA Ifraín Alfonso y Héctor Rodríguez. En este último análisis (Clúster) se empleó el método del vecino más lejano con la distancia euclidiana.

El Porcentaje de pol en caña (PPC) en las EAA se determinó por la siguiente fórmula:

$$PPC = PPJ * 1 - (\% \text{ fibra} / 100)$$

Donde, PPC: Porcentaje de pol en caña absoluto, PPJ: Porcentaje de pol en jugo y Porcentaje de fibra en caña PFC.

Finalmente, se comparó la variable Porcentaje de fibra en caña (PFC) de los cultivares, entre los estudios realizados en los bloques experimentales de Espartaco y Jovellanos, con vista a conocer su semejanza o diferencia, mediante una prueba de T de Student y un Análisis de regresión, para conocer la posible relación (Tendencia) de esta entre los sitios estudiados.

De igual forma, fue realizado un Análisis de varianza de dos factores, de efecto aleatorio (Genotipos y Localidades) con el propósito de determinar el porcentaje de contribución del componente genético, ambiental y la interacción genotipo-ambiente, para significar la necesidad o no de introducir cambios en los laboratorios de azucarerías del INICA, con vistas a la recomendación de cultivares. El error estándar aproximado, de cada componente, se calculó según Falconer (5).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 1 muestra la comparación entre las medias de las variedades en los tres experimentos (ciclo B, C y retoño). Los métodos de muestreo empleados reflejaron diferencias significativas en la mayoría de las variedades estudiadas; en todos los casos el Porcentaje de pol en caña fue superior por el método de cuatro muestras de cinco tallos. Diferentes autores (6) señalaron, que el muestreo por área es más representativo, ya que incluye los tallos molibles, renuevos y secos, no así el mues-

treo de cuatro muestras de cinco tallos, que sólo incluye los molibles y sesga el contenido azucarero real de las variedades.

Tabla 1. Comparación del muestreo de cuatro muestras de cinco tallos con el muestreo por área (4 metros y 1 metro). Prueba T de Student en diferentes cepas

Variedad	Ciclo B 20 meses			Variedad	Ciclo C 18 meses			Variedad	Retoño 13 meses		
	20 tallos	4 metros	T cal.		20 tallos	1 metro	T cal.		20 tallos	1 metro	T cal.
B7274	16.86	14.62	2.92 *	C111-79	17.84	16.79	2.27 **	C16-77	17.88	17.48	1.83 NS
C266-70	16.56	15.17	2.79 *	C113-79	16.76	14.28	4.50 **	C112-78	19.21	18.22	2.91 **
C294-70	16.77	15.01	5.39 **	C118-79	19.06	18.19	2.82 **	C120-78	18.02	17.41	2.29 *
C636-70	17.85	17.37	1.02 NS	C130-79	18.73	17.44	2.76 **	C122-78	17.67	16.39	4.19 **
C290-73	17.33	16.15	2.68 *	C136-79	19.07	18.51	1.83 NS	C127-78	18.7	17.73	2.87 **
C751-75	15.76	13.37	6.61 **	C138-79	18.96	18.02	2.98**	C129-78	17.56	16.87	2.63 *
C1616-75	17.36	15.45	4.53 **	C147-79	17.14	16.33	1.98 NS	C131-78	17.22	16.47	2.62 *
C147-78	16.88	15.22	3.68 **	C751-79	18.96	18.37	1.67 NS	C147-78	19.15	18.39	2.54 *
C120-78	17.09	15.74	3.60 **	C112-80	17.73	16.35	4.21 **	C179-77	18	17.19	2.67 *
C111-79	16.75	15.21	2.93 *	Ja60-5	18.89	16.63	4.75 **	Ja60-5	19.41	18.95	1.56 *
Ja60-5	17.71	15.29	3.83 **								

*: Significación al 5 %, **: Significación al 1 % y NS : No hay diferencias significativas

En las tablas 2, 3 y 4, se observan los resultados del muestreo aleatorio estratificado, en la determinación del tamaño de muestra, para el Porcentaje de pol en caña (método de distribución Neyman). En todos los casos se pudo apreciar que el tamaño de muestra (n) no fue superior a 22 m lineales (tabla 3) y que en retoño predomina el menor número de muestra por cultivar. Este aspecto ratifica la mayor homogeneidad de la población de los tallos en retoño, por ser una cepa más estable, dada la composición de sus tallos y de similar edad.

La cepa de planta posee tallos primarios, secundarios y terciarios. Los vástagos de orden diferente, presentan diferencias en el peso, longitud total y madurez, así como en longitud y grosor de los canutos individuales (7). De esta manera, la cepa de retoño da la posibilidad de calcular el tamaño de forma más representativa (muestreo por área), en los estudios de regionalización de variedades de caña de azúcar.

Tabla 2. Resultados de la aplicación del muestreo aleatorio estratificado para estimar el tamaño de la muestra en la determinación del porcentaje de pol en caña. Método de distribución de Neyman. Experimento Ciclo B, localidad Ramón Balboa, cepa caña planta, edad 19 meses. Muestreo por metro lineal

Estratos	N	n	% de pol en caña				Intervalo de Confianza
			X	Si ²	CV	\bar{n}	
C111-79	150	30	14.96	4.35	13.95	16	13.94, X; 15.97
C118-79	150	30	14.94	3.07	11.74	15	14.04, X; 15.83
C130-79	150	30	15.08	2.89	11.28	13	14.16, X; 16.00
C136-79	150	30	16.13	2.01	8.79	9	15.73; X; 17.04
C147-79	150	30	16.39	0.27	3.18	3	15.83; X; 16.95
C151-79	150	30	15.75	1.29	7.21	9	15.00, X; 16.49
C112-80	150	30	16.07	1.29	7.07	9	15.35, X; 16.80
Ja60-5	150	30	15.88	1.29	7.15	6	15.01, X; 16.75
Población	1200	240	15.62	0.022		81	15.32, X; 15.92

Tabla 3. Resultados de la aplicación del muestreo aleatorio estratificado para determinar el tamaño de la muestra en la estimación del porcentaje de pol en caña. Método de distribución de Neyman. Experimento ciclo C, localidad Espartaco, cepa caña planta, edad 18 meses. Muestreo por metro lineal

Estratos	N	n	% de pol en caña				Intervalo de Confianza
			X	Si ²	CV	ñ	
C111-79	90	24	17.07	4.73	12.74	15	16.01, X; 18.13
C138-79	90	24	18.25	1.45	6.6	9	17.44, X; 19.05
C118-79	90	24	18.6	1.28	6.08	9	17.82, X; 19.38
C113-79	90	24	14.78	9.37	20.71	22	13.55; X; 16.01
C151-79	90	24	18.63	1.66	6.92	9	17.80; X; 19.46
C130-79	90	24	17.94	3.05	9.73	12	16.98, X; 18.89
C136-79	90	24	18.77	0.86	4.95	7	18.06, X; 19.48
C147-79	90	24	16.38	3.37	11.21	13	15.40, X; 17.36
C112-80	90	24	17.48	1.19	6.25	8	16.71, X; 18.24
Ja60-5	90	24	16.67	8.56	17.54	21	15.47, X; 17.88
Población	900	240	17.46	0.023		125	17.60, X; 17.96

Tabla 4. Resultados de la aplicación del muestreo aleatorio estratificado para determinar el tamaño de la muestra en la estimación del porcentaje de pol en caña. Método de distribución de Neyman. Experimento ciclo B, localidad Espartaco, cepa 1er retoño, edad 13 meses. Muestreo por metro lineal.

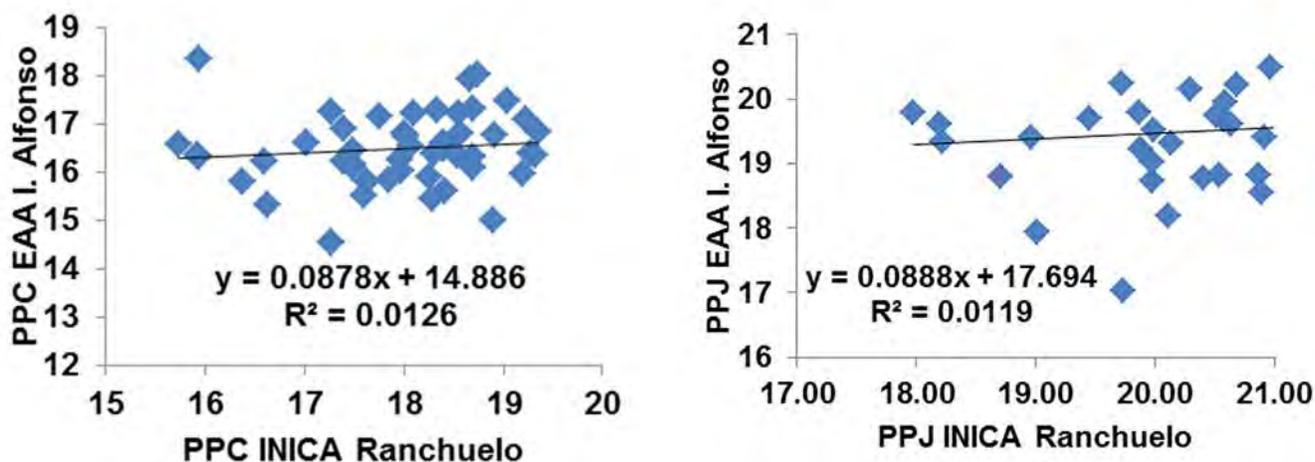
Estratos	N	n	% de pol en caña				Intervalo de Confianza
			X	Si ²	CV	ñ	
C147-78	90	20	18.54	1.02	5.44	4	17.69, X; 19.47
C120-78	90	20	17.52	0.62	4.6	3	16.69, X; 18.35
C122-78	90	20	16.6	1.62	7.68	6	15.55, X; 17.64
C127-78	90	20	17.85	1.61	7.11	6	16.81; X; 18.90
C112-78	90	20	18.59	2.25	8.08	7	17.45; X; 19.73
C131-78	90	20	16.61	0.51	4.32	3	15.82, X; 17.41
C129-78	90	20	17.23	1.14	6.21	5	16.26, X; 18.19
C179-77	90	20	17.45	0.9	5.44	4	16.54, X; 18.36
C16-77	90	20	17.75	0.36	3.44	3	17.02, X; 18.48
Ja60-5	90	20	16.62	1.37	6.29	5	17.61, X; 19.63
Población	900	200	17.68	0.023		46	17.38, X; 17.98

La comparación entre las variables Porcentajes de pol en caña (PPC) y pol en jugo (PPJ), entre los laboratorios del INICA, en Ranchuelo y de la EAA Ifraín Alfonso, mostró diferencias significativas (tabla 5). El PPC fue superior en el INICA, aspecto que es lógico que ocurra, pues para su determinación se utiliza una fibra entre 12.5 y 13.5 %, mientras que en el laboratorio de la EAA esta se determina por variedad en cada repetición, la cual es variable y, en la mayoría de los casos, excede de los valores antes mencionados. No obstante, en el Porcentaje de pol en jugo, estuvo a favor de la EAA Ifraín Alfonso, lo que demuestra la importancia de determinar la fibra a cada variedad, para no sobreestimar los valores en el Porcentaje de pol en caña.

Tabla 5. Resultados de la Prueba de t-student para las variables porcentaje de pol en caña y porcentaje de pol en jugo por diferentes métodos de extracción

Variabes	Estadígrafos	INICA Villa Clara	EAA. I. Alfonso	t calc
	Cantidad de muestras	48	48	-
PPC	Media	17.95	16.46	8.44 **
	ES	0.28	0.22	-
PPJ	Media	19.52	20.25	4.87 **
	ES	0.26	0.32	-

El análisis de regresión (figura.1) para las variables antes mencionadas, en los sitios analizados, expresó valores muy bajos del coeficiente de determinación (R^2), lo que indicó la disímil conducta de estas variables con los métodos utilizados, que hace necesario homologar los análisis del INICA con los laboratorios de las EAA, con la finalidad de no sesgar en la recomendación de variedades para el contenido azucarero.

**Figura 1.** Análisis de Regresión para las variables PPC y PPJ entre el INICA de Ranchuelo y la EAA Ifraín Alfonso.

En la tabla 6 se muestran los resultados entre el laboratorio del INICA de Sagua la Grande y la EAA Héctor Rodríguez. Estos resultados son comparables a los anteriormente analizados (INICA-Villa Clara-EAA Ifraín Alfonso), pero con diferencias, ya que en el primero (Sagua la Grande) fueron superiores en ambas variables, el coeficiente R^2 continuó siendo bajo (figura 2). En este caso se analizaron solo 17 muestras mientras que en el anterior 48.

Tabla 6. Resultados de la Prueba de t-student para las variables porcentaje de pol en caña y porcentaje de pol en jugo por diferentes métodos de extracción

Variabes	Estadígrafos	BE. Sagua	EAlA H. Rodríguez	t calc
	Cantidad de muestras	17	17	-
PPC	Media	15.72	14.97	-2.27*
	ES	0.51	0.48	-
PPJ	Media	18.31	17.11	-3.07 **
	ES	0.32	0.26	-

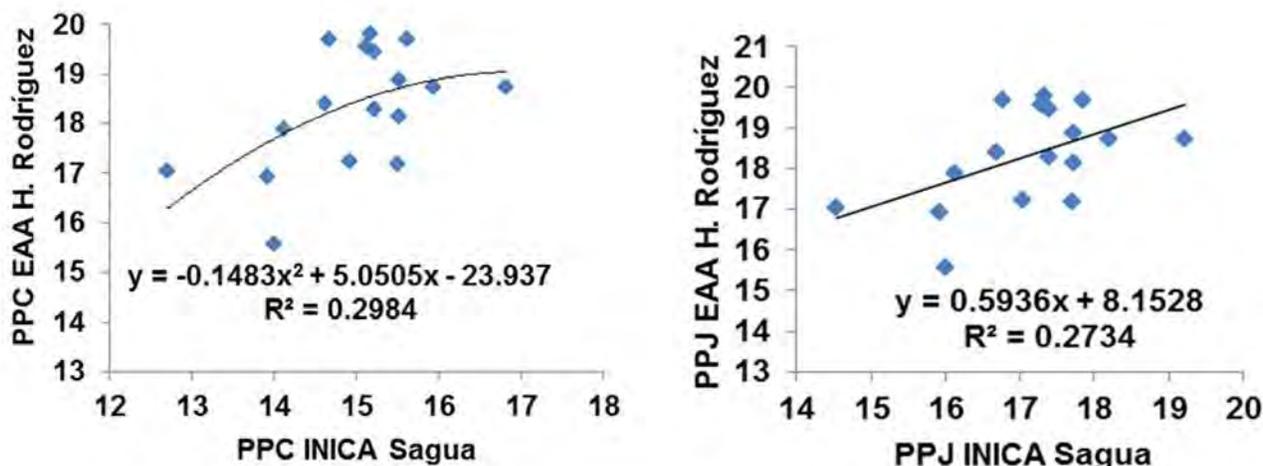


Figura 2. Análisis de Regresión para las variables PPC y PPJ entre el Bloque Experimental de Sagua la Grande y la EAA Héctor Rodríguez

El análisis de varianza para el Porcentaje de pol en caña realizado en las EAA Ifraín Alfonso y Héctor Rodríguez, mostró diferencias significativas (tablas 7 y 8). Al comparar los análisis de agrupamientos (Cluster) en el PPC realizado en las EAA Ifraín Alfonso (ensayo de Espartaco, figura 3) y Héctor Rodríguez (ensayo del B.E de Sagua la Grande, figura 4) se apreció que solo coincidieron en los grupos de mayor media los cultivares C10-163 y C10-166 y en los de menor C92-325, lo que corrobora el comportamiento diferenciado de los genotipos en las localidades, no solo en el valor absoluto, que es conocido que varíe, sino también en el orden de mérito.

Es de destacar que C86-156 tuvo resultados contrastantes entre las localidades de Espartaco y Sagua la Grande; en la primera integró el grupo de más bajo Porcentaje de pol en caña y, en la segunda, el más alto.

Tabla 7. Resultados del análisis de varianza para la variable porcentaje de pol en caña en la EAIA Ifracin Alfonso

F. Variación	S. Cuadrados	GL	C. Medios	Sig.
Cultivares	13.43	15	0.90	*
Error	13.11	32	0.41	
X ± ES	16.46 ± 0.37			

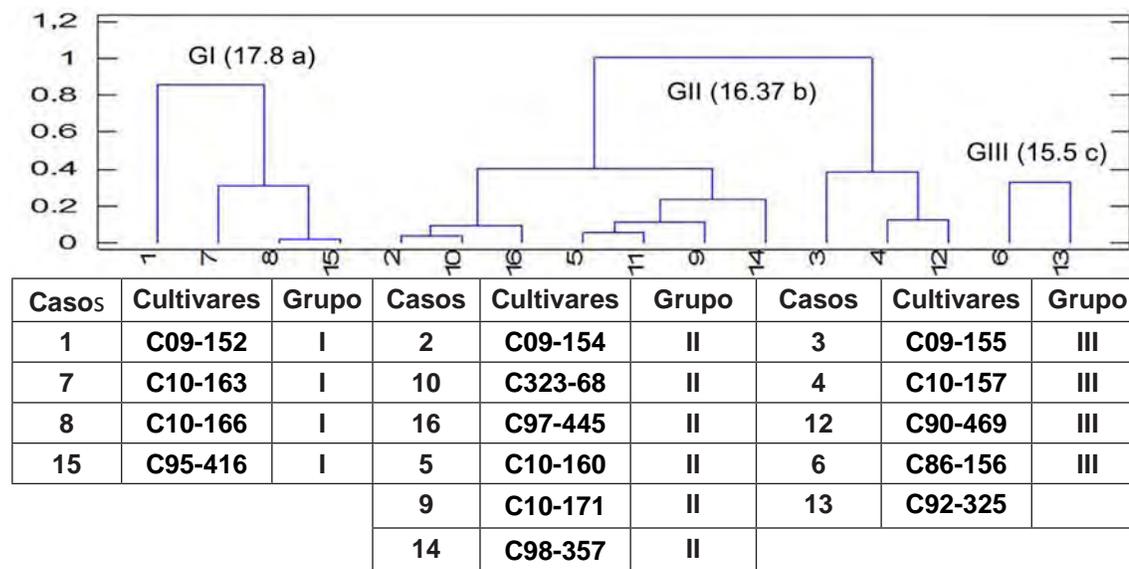
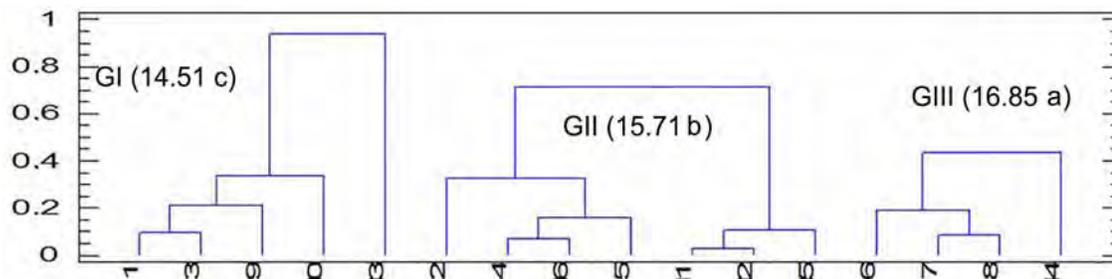


Figura 3. Resultados de los cultivares en la variable Porcentaje de pol en caña, en la localidad de Espartaco.

Tabla 8. Resultados del análisis de varianza para la variable porcentaje de pol en caña en la EAIA Héctor Rodríguez

F. Variación	S. Cuadrados	GL	C. Medios	Sig.
Cultivares	39.57	15	2.64	**
Error	8.32	32	0.26	
X ± ES	15.63 ± 0.29			



Casos	Cultivares	Grupo	Casos	Cultivares	Grupo	Casos	Cultivares	Grupo
1	C09-152	I	2	C09-154	II	6	C86-156	III
3	C09-155	I	4	C10-157	II	7	C10-163	III
9	C10-171	I	16	C97-445	II	8	C10-166	III
10	C323-68	I	5	C10-160	II	14	C98-357	III
13	C92-325	I	11	C86-12	II			
			12	C90-469	II			
			15	C95-416	II			

Figura 4. Resultados de los cultivares en la variable Porcentaje de pol en caña. Localidad B. Experimental de Sagua la Grande.

Los resultados de la comparación del Porcentaje de fibra en caña (tabla 9), expresaron diferencias significativas entre los dos laboratorios de las EAA, cuyas muestras procedieron de dos localidades contrastantes (tabla 10), lo que confirma el comportamiento diferente de esta variable por sitio de prueba y la necesidad de su determinación en cada territorio.

Tabla 9. Resultados de la Prueba de t-student para la variables porcentaje de fibra en caña en las diferentes EAIA

Variables	Estadígrafos	EAIA I. Alfonso Localidad Espartaco	EAIA. H. Rodríguez Localidad BE. Sagua	t calc
	Cantidad de muestras	16	16	-
% de Fibra	Media	15.57	14.20	4.18 **
	ES	0.26	0.65	-

Tabla 10. Componentes de varianza, variable porcentaje de fibra en caña. "Modelo bifactorial"

Componentes de Varianza	s ² ± E.S	PVT
s ² g	0.25 ± 0.004	10.08
s ² l	1.13 ± 1.87	45.56
s ² gxl	0.05 ± 0.05	3.9
s ² e	0.95 ± 0.26	40.32
VA		85.9
X ± ES	16.40 ± 0.58	

s²g: Varianza genética, s²l: Varianza de las localidades, s²gxl: Varianza de la Interacción genotipo x localidad, s²e: Varianza del error, VA: Varianza ambiental, X ± ES: Media ± Error estándar, PVT: Porcentaje de la variación fenotípica total

Los estimados de los componentes de varianza, constataron la prevalencia de la varianza ambiental sobre los demás componentes, en todas las variables estudiadas (85.9 %). Este efecto es atribuido mayormente, a las localidades seguidas por el error experimental, lo que reafirma la importancia de los sitios de pruebas para esta variable, por lo que es de esperar un comportamiento desigual en el rendimiento azucarero de sus cultivares (tabla 10). La figura 5 muestra un comportamiento desigual en la tendencia del porcentaje de fibra entre las zonas evaluadas, lo que coincide con lo antes expresado.

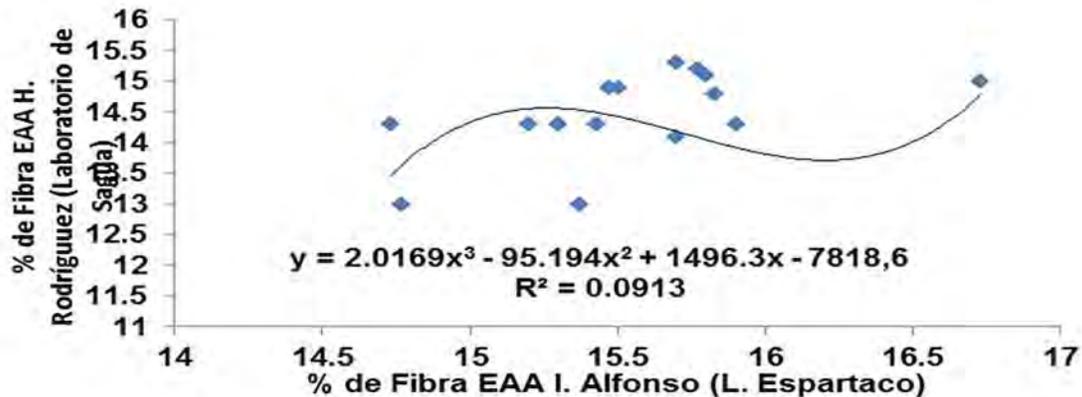


Figura 5. Análisis de Regresión para las variables Porcentaje de fibra en caña de los cultivares, entre las EAA Ifraín Alfonso y Héctor Rodríguez

CONCLUSIONES

- Se evidenció que el muestreo por área es más representativo que el muestreo de cuatro muestras cinco tallos por parcela, ya que el primero incluye los tallos molibles, renuevos y secos; no así el segundo, que sólo incluye los molibles y sesga el contenido azucarero real de las variedades en la industria.
- El muestreo aleatorio estratificado permitió estimar el tamaño de muestra para el Porcentaje de pol en caña, cuando se empleó el muestreo por área (metro) y se recomendó para este carácter.
- La comparación de las diferentes variables de calidad azucarera, demostró marcadas diferencias entre los métodos empleados (Laboratorios del INICA y de las EAA), en los diferentes análisis realizados.
- El porcentaje de fibra, en los estudios realizados, tuvo una alta contribución ambiental liderada por el efecto de las localidades y reafirmó su importancia para esta variable.

RECOMENDACIONES

- El muestreo por área demostró ser más objetivo y práctico en los estudios de regionalización de variedades, para la evaluación del contenido azucarero, ya que este tipo de muestreo se asemeja más a la forma en que es cosechada la caña para su molida en los centrales azucareros.
- Es preciso, con la mayor agilidad posible, introducir en los laboratorios de azucarerías del INICA, la desfibradora y las prensas, así como certificar las técnicas analíticas por la entidad competente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Jorge, H., *et al.* Variedades de caña de azúcar. Su concepción y desarrollo estratégico en Cuba. *Cuba & Caña*, 2011, 50p. ISSN 1028-6527.
2. Jorge, H., *et al.* Empleo del muestreo aleatorio estratificado en los experimentos de regionalización de variedades de caña de azúcar. *Cuba & Caña*, 2002 pp. 5-9. ISSN 1028-6527.
3. Hernández, A., *et al.* Clasificación de los suelos de Cuba: Instituto de Suelos. La Habana, Cuba, INCA, 2015, 92 pp.
4. Sheaffer, L.R; Mendnhall, W.; y Ott, L. Elementos de muestreo. Muestreo Aleatorio Estratificado. 1987. pp 77-118.
5. Falconer, D.S. *Introducción a la Genética Cuantitativa*. CECSA, México, 1970. pp. 225-283.
6. Jorge, H.; *et al.* *Comparación de dos métodos de muestreo en experimentos de ciclo largo de cosecha*. Memoria Anual BTJ. EPICA Cienfuegos. 1988. pp 25-58.
7. Dillewijn V. *Botánica de la Caña de Azúcar*. Edición revolucionaria. La Habana, Inst. del libro. 1975. 139 p.

Efecto de las nanopartículas de plata (NPs-Ag) en el enraizamiento *in vitro* de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.)

María del Carmen Hernández-León^{1*}, Rafael Gómez-Kosky¹, Edel A. Toledo-Rodríguez¹, Aydiloide Bernal-Villegas¹, Mirelis Alejo-Sierra¹, Jercy Álvarez-Ferreiro¹, Ada T. Aguiar-Fernández¹, Midiala Bermúdez-Calimano¹, Ahmed Valdés-Martínez² y Yorexis González-Alfaro²

1. Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA) UEB Villa Clara (INICA-VC). Autopista Nacional, km 246, Ranchuelo. Villa Clara, Cuba

2. Centro de Estudios Avanzados de Cuba (CEA). Carretera a San Antonio de los Baños, km 1 ½. Valle Grande, La Lisa, La Habana. Cuba.

* maria.hernandez@inicavc.azcuba.cu

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue determinar el efecto de las nanopartículas de plata (CEA, Cuba) en el enraizamiento de brotes *in vitro* de caña de azúcar, cultivar C97-445 y el control de la contaminación en el medio de cultivo. Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado, se estudiaron cuatro concentraciones de nanopartículas de plata 9.31; 18.63, 27.95 y 37.27 mg L⁻¹ solas y en combinación con la auxina AIA. La densidad de inóculo fue de 15 brotes *in vitro*, en frascos de cultivo plásticos, con volumen de 1 L, con 80 mL de medio de cultivo. A los 15 días de cultivo se evaluó el número total de brotes enraizados y se seleccionaron 50 de ellos por tratamiento y se les midió: altura, número de hojas, masa fresca de la planta, contenido total de clorofilas, número de raíces y longitud de la raíz más larga; además, los frascos de cultivo fueron revisados cada siete días, para así evaluar la presencia visual de microorganismos contaminantes (bacterias, hongos y levaduras), hasta su etapa final. Para las concentraciones de 9.31; 18.63 y 27.95 mg L⁻¹ NPs-Ag en combinación con la auxina AIA se alcanzó 100 % de enraizamiento excepto en la mayor concentración 37.27 mg L⁻¹, en la que se redujo este valor cerca del 20 %. Sin embargo, con la concentración de 27.95 mg L⁻¹ de NPs-Ag, sin la presencia del regulador del crecimiento, se obtuvo un 100 % de plantas con raíces. Las NPs-Ag evitaron la presencia de contaminantes microbianos del tipo bacterias en el medio de cultivo.

Palabras clave: caña de azúcar, contaminación, enraizamiento, nanopartículas, propagación *in vitro*.

ABSTRACT

The objective of the work was to determine the effect of silver nanoparticles (CEA, Cuba) on the rooting of *in vitro* shoots of sugarcane cultivar C97-445 and the control of contamination in the culture medium. A completely randomized experimental design was used studying four concentrations of silver nanoparticles 9.31; 18.63, 27.95 and 37.27 mg L⁻¹ alone and in combination with auxin AIA. The inoculum density was 15 *in vitro* shoots in 1 L volume plastic culture flasks with 80 mL of culture medium. After 15 days of cultivation, the total number of rooted shoots was evaluated and 50 of them were selected per treatment and measured: height, number of leaves, fresh mass of the plant, total content of chlorophylls, number of roots and length of shoots, the longest root. In addition, the culture flasks were checked every seven days in order to evaluate the visual presence of contaminating microorganisms (bacteria, fungi and yeasts) until their final stage. The rooting percentage, for the concentrations of 9.31; 18.63 and 27.95 mg L⁻¹ AgNPs in combination with the auxin AIA, 100 % rooting was reached except in the highest concentration 37.27 mg L⁻¹ where this value was reduced close to twenty %. However, with the concentration of 27.95 mg L⁻¹ of AgNPs without the presence of the growth regulator, 100 % of plants with roots were obtained. The AgNPs prevented the presence of bacteria-type microbial contaminants in the culture medium.

Key words: sugarcane, contamination, rooting, nanoparticles, *in vitro* propagation.

INTRODUCCIÓN

Los avances en nanotecnología que se han integrado en la biología han llevado al surgimiento de una nueva y apasionante disciplina llamada Nanobiotecnología, indicaron Razzaq *et al.* (1). Las nanopartículas (NP: 1-100 nm de diámetro) son pequeñas formas de material de origen natural o manufacturado, cuyas propiedades difieren notablemente de las de las respectivas formas a granel del mismo material. Ciertas NP tienen usos diagnósticos y terapéuticos; algunas NP muestran una toxicidad de dosis baja, mientras que otras muestran capacidad para estimular respuestas adaptativas de dosis bajas, según Wang *et al.* (2).

La contaminación del tejido vegetal y del medio de cultivo es causada por microorganismos, en su mayoría hongos y bacterias, que crecen rápidamente en medios nutritivos. Los contaminantes microbianos en la base de los explantes y alrededor de ellos son un gran problema. Alternativamente, se ha sugerido una incorporación de antibióticos y antimicóticos en los medios de cultivo, para eliminar contaminantes microbianos, según Habida *et al.* (3); sin embargo, el uso prolongado de estos agentes puede provocar resistencia en los microorganismos. Actualmente, las nanopartículas de plata (NPs-Ag) han demostrado ser efectivas en la inhibición de agentes contaminantes (hongos, bacterias y virus), sin generar resistencia indicaron Parzymies (4).

Las NPsAg en el cultivo de tejidos vegetales son empleadas de la siguiente forma: desinfección de explantes, esterilización de medios de cultivo, inhibir efectos de etileno en algunas especies y eliminación de virus *in vitro*; no obstante, la información disponible sobre el tema es demasiado escasa para alcanzar algún consenso sobre la nanotoxicidad y su mecanismo. Los resultados demostraron que las NPsAg presentan efecto microbicida en brotes *in vitro* de caña de azúcar (*Saccharum* spp.), en fase de multiplicación, apuntaron Bello-Bello *et al.* (5); stevia (*Stevia rebaudiana*), vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews) Spinoso-Castillo *et al.* (6) y *Psidium friedrichsthalianum* Andújar *et al.* (7). Además, se emplearon en la esterilización del medio de cultivo, para inhibir efectos de etileno. La utilización de las nanopartículas de plata tiene las siguientes ventajas: reducción de los gastos de operación, disminución de pérdidas por contaminación y saneamiento de las plantas *in vitro*.

El objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto de las nanopartículas de plata en el control de la contaminación y en el enraizamiento *in vitro* de la caña de azúcar.

MATERIALES Y MÉTODOS

Nanopartículas de Plata (NPs-Ag)

Estas fueron sintetizadas en el Centro de Estudios Avanzados (CEA), del Ministerio de Ciencia y Tecnología y Medio Ambiente, en La Habana, Cuba. Son nanopartículas de forma esférica, disueltas en agua destilada, con un diámetro hidrodinámico promedio de 63.54 nm y con una potencial zeta (mV)-39.1.

Medio de cultivo

Sales Murashige y Skoog (8) MS al 100 %, 1.0 mg L⁻¹ de tiamina, 1.3 mg L⁻¹ de AIA, 20 mg L⁻¹ de floroglucinol, 40 g L⁻¹ de sacarosa en estado líquido, según Gómez-Kosky *et al.* (9). En todos los medios de cultivo el pH se ajustó a 5.8 con NaOH (1.0 N) y HCl (1.0 N) previo a la esterilización, mediante ebullición.

Material vegetal

Se emplearon brotes *in vitro* de caña de azúcar procedentes del medio de cultivo de multiplicación con seis subcultivos. Estos tenían una longitud entre 2.0-3.0 cm y fueron colocados 5 grupos

de brotes (cada grupo formado por dos o tres brotes) en frascos de cultivo plásticos traslucidos, con medio de cultivo líquido.

Se evaluaron cuatro concentraciones de NPs-Ag 9.31; 18.63; 27.95 y 37.27 mg L⁻¹ solas y en combinación con la auxina ácido-3-indol-acético (AIA). Como control, el medio de cultivo esterilizado con Vitrofur®. Se utilizaron 30 frascos plásticos por tratamiento.

A los 15 días de cultivo se evaluaron las siguientes variables: toxicidad (porcentaje de supervivencia), contaminación por microorganismos (hongos y bacterias), número de plantas con raíces (expresado en porcentaje). Además, se realizaron evaluaciones morfofisiológicas.

Evaluaciones morfológicas

En cada experimento se seleccionaron, al azar, 50 brotes o plantas *in vitro* por tratamiento, a las que les fueron evaluadas las siguientes variables: altura (cm), desde la base del brote hasta la base de la hoja+1, número de hojas, número de raíces, longitud de la raíz más larga (cm).

Evaluación fisiológica

Contenido total de clorofilas (Unidades SPAD) equivalentes a la cantidad de clorofila y nitrógeno total determinados por métodos tradicionales, según Reeves *et al.* (10) con el empleo del detector portátil de clorofila SPAD-502 (Minolta, Japón). En todos los tratamientos la medición se realizó en primera hoja con cuello visible.

Métodos de esterilización

El medio de cultivo de enraizamiento fue desinfectado a través del método físico, mediante la ebullición a 100 °C, durante cinco minutos. Previamente los frascos de cultivo plásticos transparentes y de un volumen total de 500 mL habían sido esterilizados por el método químico, con hipoclorito de sodio (NaOCl) al 0.05 % (v/v). Se combinó la desinfección química de los frascos de cultivo con la posterior adición del esterilizante químico Vitrofur® (CBQ-UCLV, Cuba), a una concentración de 116.0 mg L⁻¹; se dosificaron en frascos de cultivo, a los que se les adicionó 80 mL de este.

También, los platos de aluminio para el trabajo en la cabina de flujo laminar, fueron esterilizados en la estufa a 180 °C, durante 2 h. El instrumental (pinzas y bisturíes), se desinfectó en un esterilizador eléctrico modelo DENT-EQ (Alemania), que permaneció dentro de la cámara de flujo laminar horizontal, donde se realizó el manejo del material vegetal en condiciones de esterilidad.

Una vez reducida la temperatura de este a 75 °C, se adicionaron las distintas concentraciones de nanopartículas, con el auxilio de una micropipeta (Gilson, Francia) con puntas plásticas esterilizadas en autoclave.

Condiciones de cultivo

Los frascos de cultivo con los brotes *in vitro* fueron colocados en cuartos de cultivo climatizados, a una temperatura de 27 ± 2 °C. Con luz solar, con un fotoperíodo de 13/11h de luz/oscuridad, con un rango de densidad de Flujo de fotones fotosintéticos entre 37.1 a 64.6 μmol m⁻² s⁻¹; medido con un luxómetro EXTECH Light meter 401 025 (EE.UU).

Acclimatización *ex vitro*

Las plantas *in vitro*, de los mejores tratamientos, obtenidas en el enraizamiento y el control fueron transferidas a la fase de aclimatización en condiciones de umbráculo. El área estaba cubierta con una malla sombra (Sarán), de color negro, que reduce al 50 % la intensidad luminosa. Se trasplantaron a bandejas plásticas de 60 alveolos, con capacidad cada uno para 143 cm³ de sustrato. Se utilizó como sustrato compost, a partir de cachaza de restos de la caña de azúcar, al que se le añadió zeolita, en proporción de 3:1 (v/v). El riego se realizó por aspersión, tres veces al día. Se emplearon

180 plantas *in vitro* por cada tratamiento. A los 15 días del trasplante se evaluó la supervivencia; además, también se evaluó el posible efecto fitotóxico en las plantas a los 35 días de cultivo, en estas condiciones.

Análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado con siete tratamientos y diez repeticiones. Los resultados se sometieron a un análisis de varianza simple (ANOVA), previa comparación de la normalidad y homogeneidad de varianza. Las diferencias significativas entre las medias se analizaron por la prueba de Tukey, para $p \leq 0.05$. El paquete estadístico utilizado fue el SPSS, versión 23 para Windows. El experimento fue repetido dos veces.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de las NPs-Ag en el control de la contaminación y el enraizamiento *in vitro*

En el enraizamiento las NPs-Ag a las concentraciones evaluadas en el medio de cultivo de líquido estático controlaron el crecimiento de bacterias en un 100 %. Sin embargo, para el caso de los hongos ninguna concentración logró controlar la presencia y crecimiento de estos microorganismos. Las diferentes concentraciones de nanopartículas evaluadas no tuvieron un efecto tóxico que comprometiera la supervivencia de los brotes *in vitro* de caña de azúcar (tabla 1).

Respecto al porcentaje de enraizamiento, para las concentraciones de 9.31; 18.63 y 27.95 mg L⁻¹ NPs-Ag en combinación con la auxina AIA se alcanzaron 100 % de enraizamiento excepto en la mayor concentración 37.27 mg L⁻¹ donde se redujo este valor cerca del 20 %. Lo cual puede demostrar un posible efecto fitotóxico con esta concentración, lo cual apoya los resultados alcanzados con igual concentración sin la auxina en el medio de cultivo. Sin embargo, con la concentración de 27.95 mg L⁻¹ de NPs-Ag sin la presencia del regulador del crecimiento se obtuvieron un 100 % de plantas con raíces.

Tabla 1. Efecto de la concentración de las nanopartículas de plata (NPs-Ag) sobre la contaminación y el enraizamiento de los brotes *in vitro* de caña de azúcar cultivar C97-445 a los 15 días de cultivo

Concentración NPs-Ag (mg L ⁻¹)	Concentración de AIA (mg L ⁻¹)	Supervivencia (%)	Contaminación hongos (%)	Enraizamiento (%)
*0 + Vitrofurax	1.3	100	0.0	98.4
9.31	1.3	100	17.5	100
9.31	0	100	12.2	42.8
18.63	1.3	100	14.5	100
18.63	0	100	11.4	93.6
27.95	1.3	100	12.8	100
27.95	0	100	13.2	100
37.27	1.3	100	12.5	81.4
37.27	0	100	10.4	83.3

Medias con letras no comunes dentro de la misma columna difieren estadísticamente según prueba de proporciones para el caso del porcentaje para $p < 0,05$ (n=60) (*Control)

Estos resultados constituyen el primer informe del efecto de NPs-Ag en el enraizamiento *in vitro* de la caña de azúcar, según la literatura científica consultada hasta el momento. Al respecto, Rezva-

ni *et al.* (11) refirieron que las NPs-Ag provocaron un crecimiento radical por el bloqueo de la señal del etileno en la especie *Crocussativus* y que el impacto en la morfología y la fisiología de las plantas dependen del tamaño y la forma de las nanopartículas.

También, Syu *et al.* (12) señalaron los efectos de tres morfologías diferentes de las NPs-Ag, incluidos los decaédricos (45 ± 5 nm), esféricos (8 ± 2 nm) y triangulares (47 ± 7 nm), sobre el crecimiento de las plántulas, la expresión génica y los cambios fisiológicos en *Arabidopsis*. El crecimiento de la raíz mejoró cuando las plántulas se trataron con NPs-Ag; ya sea triangulares o decaédricas, pero no se detectó crecimiento después del tratamiento esférico de NPs-Ag. Además, informaron que el tratamiento con este tipo de nanopartículas altera el contenido de enzimas antioxidantes y la expresión de genes que están involucrados en la biosíntesis de auxina, ácido abscísico y etileno. Iguales resultados señalaron Manh *et al.* (13) en la propagación *in vitro* de *Panaxvietnamensis*.

En relación con lo anterior, Gruyer *et al.* (14) informaron que estas pudieron tener un efecto positivo y negativo en la elongación de la raíz dependiendo de la especie de planta. También, Salama (15) refirió al efecto de estas nanopartículas en una concentración de 60 mg L^{-1} en la estimulación de la elongación de las raíces en frijol (*Phaseolusvulgaris* L.) y maíz (*Zea mays* L.).

Por su parte Sarmast *et al.* (16) plantearon que estas nanopartículas tuvieron un efecto positivo en la estimulación del crecimiento de las raíces *in vitro* de la especie *Tecomellaundulata*, igual que Nhat Linh *et al.* (17) en ginseng (*Panaxvietnamensis* Ha etGrushv.). Al respecto Muthuramalingam *et al.* (18) señalaron resultados semejantes mediante la utilización de las NPs-Ag en combinación con el AIA y con el AIB en comparación con el empleo de estos reguladores del crecimiento solos en el medio de cultivo. Los resultados del presente trabajo apoyan los alcanzados por estos autores.

Para las variables altura, número de raíces y longitud de la raíz más larga la concentración de 27.95 mg L^{-1} de NPs-Ag con la presencia o no del AIA superaron al resto de los tratamientos y el control con diferencias significativas (figura 1 A, B). No obstante, para el número de hojas no se obtuvieron diferencias significativas entre los distintos tratamientos y el control. Se destaca por las diferentes concentraciones de nanopartículas el incremento en el contenido de clorofilas totales (unidades SPAD) en las plantas *in vitro* con diferencias significativas respecto al control (tabla 2).

Tabla 2. Efecto de las concentraciones de las nanopartículas de plata (NPs-Ag) sobre la morfo-fisiología de las plantas *in vitro* de caña de azúcar (*Saccharum* spp. cultivar C97-445) a los 15 días de cultivo en medio de cultivo de enraizamiento

Concentración NPs-Ag (mg L^{-1})	Concentración de AIA (mg L^{-1})	Altura (cm)	No de hojas	No. de raíces	Longitud raíz más larga (cm)	Clorofilas totales (unidades SPAD)
*0 + Vitrofurax	1.3	4.16 c	5.2 a	2.66 b	1.53 b	13.42 b
9.31	1.3	4.35 b	5.0 a	2.98 b	1.24 b	24.45 a
9.32	0	4.21 bc	4.6 a	2.16 b	1.18 b	23.41 a
18.63	1.3	4.46 b	4.5 a	3.13 b	1.09 b	23.73 a
18.63	0	4.48 b	4.7 a	3.00 b	1.46 b	23.52 a
27.95	1.3	5.33 a	5.3 a	9.53 a	2.96 a	24.67 a
27.95	0	5.40 a	5.1 a	10.60 a	3.45 a	25.83 a
37.27	1.3	4.15 c	4.8 a	2.84 b	0.88 b	22.67 a
37.27	0	4.56 b	5.9 a	2.66 b	0.72 b	26.26 a
MG±EE		4.40±0.15	4.38±0.22	4.91±0.33	1.44±0.12	22.58±0.94

Medias con letras no comunes dentro de la misma columna difieren estadísticamente según prueba de Tukey para $p < 0,05$ ($n=60$) (*Control) MG±EE: Media General ± Error Estándar.

En estudios realizados por Tymoszuk y Miler (19) con la adición al medio de cultivo de NPs-Ag en combinación con el AIA. Estos autores informaron que en las especies *Chrysanthemum x grandiflorum* (Ramat.) Kitam cv 'Bydgoszezanka' y *Gerbera x jamesonii* cv. 'Suri' las nanopartículas de plata a las concentraciones de 10 y 30 mg L⁻¹ estimularon la longitud de la raíz, no así para el número, ni el diámetro de estas. También, Muthuramalingam *et al.* (18) señalaron que los brotes *in vitro* de tabaco (*Nicotianatabacum* L.) tratados con "nanobalas" (nanopartículas de plata con las auxinas AIA y ácido indol-butírico AIB) estimularon un mayor número de raíces, con una mayor longitud y número de pelos absorbentes.

Aclimatización ex vitro

A los 15 días después del trasplante, las plantas *in vitro* de caña de azúcar, de los mejores tratamientos en el enraizamiento (27.95 mg L⁻¹ NPs-Ag, con AIA y sin ella) alcanzaron valores de supervivencia iguales al control (92.8; 93.3 y 91.6 %, respectivamente), en condiciones de umbráculo. Esto demostró una vez más el efecto no tóxico de las NPs-Ag a la concentración empleada durante la fase de aclimatización a los 35 días de cultivo (figura 1C).

CONCLUSIONES

Las concentraciones de NPs-Ag utilizadas en el enraizamiento permiten un control del 100 % de la contaminación por bacterias, no así para los hongos.

Se logra, con la concentración de 27.95 mg L⁻¹ de NPs-Ag, un efecto positivo en el enraizamiento de los brotes *in vitro* de caña de azúcar, con presencia de la auxina o sin ella.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Razzaq, A., R. Ammara, H.M. Jhazab, T. Mahmood, A. Hafeez, S. Hussain. A novel nanomaterial to enhance growth and yield of wheat. *Journal NanoscienceTechnology*.2 (1):55-58, 2015.
2. Wang, P., E. Lombi, Z. Fang-Jie, P.M. Kopittke. Nanotechnology: A new opportunity in plant sciences. *Trends in Plant Science* 21 (8): 699-712, 2016.

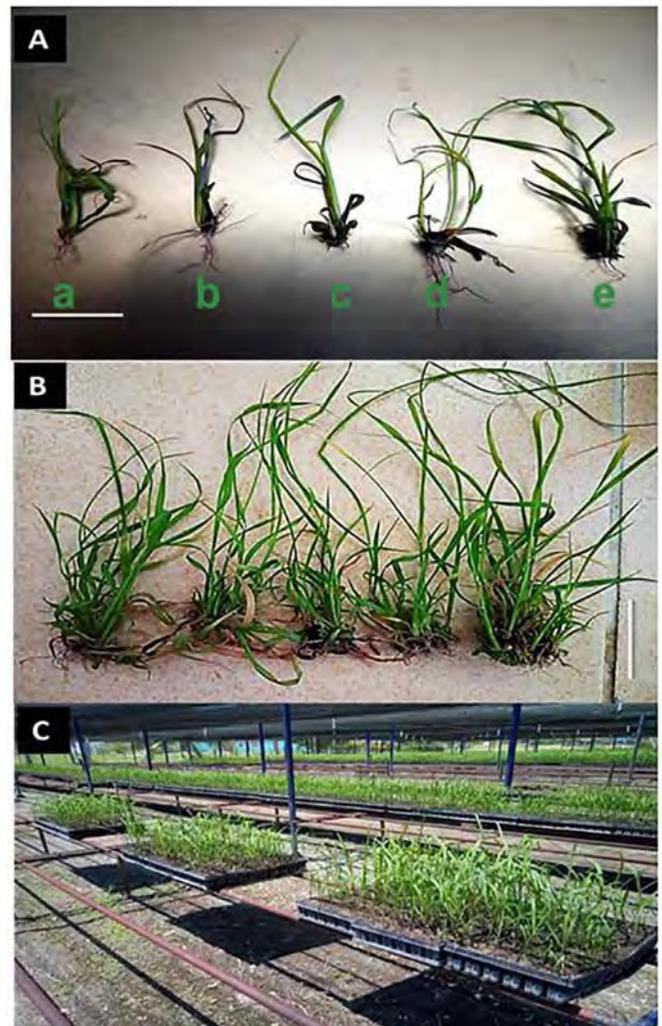


Figura 1. Efecto de las NPs-Ag en el enraizamiento *in vitro* de la caña de azúcar (*Saccharum* spp. cv. C97-455), a los 15 días de cultivo.

(A)(a) Control, (b) NPs-Ag 18.65 mg L⁻¹+AIA, (c) NPs-Ag 18.65 mg L⁻¹, (d) NPs-Ag 27.95 mg L⁻¹+AIA, (e) NPs-Ag 27.95 mg L⁻¹. (B) Grupos de plantas *in vitro* enraizadas en el tratamiento NPs-Ag 27.95 mg L⁻¹. (C) Plantas *in vitro* en fase de aclimatización *ex vitro* de los tratamientos con NPs-Ag 27.95 mg L⁻¹+AIA, NPs-Ag 27.95 mg L⁻¹ y el control, a los 35 días después del trasplante.

3. Habida, U., S. Reja, M.L. Saha, M.R. Khan. Endogenous bacterial contamination during in vitro culture of table banana: identification and prevention. *Plant Tissue and Organ Culture* 12 (2):117-124, 2002.
4. Parzymies, M. Nano-Silver particles reduce contaminations in tissue culture but decrease regeneration rate and slows down growth and development of *Aldrovandavesiculosa* explants. *Applied Sciences* 11: 36-53, 2021. <https://doi.org/10.3390/app11083653>
5. Bello-Bello, J.J., R.A. Chavez-Santoscoy, C.A. Lecona-Guzmán, N. Bogdanchikova, J. Salinas-Ruíz, F.C. Gómez-Merino, A. Pestryakov. Hormetic Response by Silver Nanoparticles on In Vitro Multiplication of Sugarcane (*Saccharum* spp. cv. Mex 69-290) Using a Temporary Immersion System. *Dose Response* 15(4):1-9, 2017.
6. Spinoso-Castillo, J.L., R.A. Chavez-Santoscoy, N.J.A. Bogdanchikova, V. Pérez-Sato, J. Morales-Ramos, J. Bello-Bello. Antimicrobial and hormetic effects of silver nanoparticles on *in vitro* regeneration of vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews) using a temporary immersion system. *Plant Cell Tissue Organ Culture* 129:195–207, 2017.
7. Andújar I., González N., Juan Carlos García J.C., Nina Bogdanchikova N., Pestryakov A. Argovit™ silver nanoparticles reduce contamination levels and improve morphological growth in the *in vitro* culture of *Psidiumfriedrichsthalianum* (O. Berg) Nied. *SN Applied Sciences*. 2(2110): 1-9, 2020.
8. Murashige, T., and F. Skoog. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiology Plant*, 15:473-497, 1962.
9. Gómez-Kosky, R., P.A Machado, M.C. Bermúdez, A.V. Bernal, Y. Otero, D.J. Núñez, J.F. Álvarez, D.D. Daniels, L. P. Posada. Effect of Phloroglucinol on in vitro rooting of sugarcane (*Saccharum* spp. cv C90-469). *Sugar Tech*. 23 (3): 466-471, 2020. <https://doi.org/10.1007/s12355-020-00906-y>
10. Reeves, W.D., P.L. Mask, C.W. Wood, D.P. Delay. Determination of wheat nitrogen status with a handheld chlorophyll meter. Influence of management practices. *Journal of Plant Nutrition*. 16: 7781-7796, 1993.
11. Rezvani, N., A. Sorooshzadeh, N. Farhadi. Effect of nano-silver on growth of saffron in flooding stress. *World Academic Science Engineer Technology* 1:517–522, 2012.
12. Syu, Y.Y., J.H. Hung, J.C. Chen, H.W. Chuang. Impacts of size and shape of silver nanoparticles on *Arabidopsis* plant growth and gene expression. *Plant Physiology and Biochemistry* 83:57–64, 2014.
13. Manh Cuong, D., Cong Du, P., Tung, H.T. *et al.* Silver nanoparticles as an effective stimulant in micropropagation of *Panaxvietnamensis* a valuable medicinal plant. *Plant Cell Tiss Organ Cult*. 2021. <https://doi.org/10.1007/s11240-021-02095-2>
14. Gruyer, N., M. Dorais, C. Bastien, N. Dassylva, G. Triffault-Bouchet. Interaction between silver nanoparticles and plant growth. En: *Proceeding of International symposium on new technologies for environment control, energy-saving and crop production in greenhouse and plant factory—greensys*, Corea, 6–11 Oct 2013. *Acta Horticulturae* 1037: 795-800, 2014.
15. Salama, M.H. Effects of silver nanoparticles in some crop plants, common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and corn (*Zea mays* L.). *International Research Journal of Biotechnology* 3(10): 190-197, 2012.
16. Sarmast, M.K., A. Niazi, H. Salehi, A. Abolimoghadam. Silver nanoparticles affect ACS expression in *Tecomellaundulata* in vitro culture. *Plant Cell Tissue and Organ Culture* 121(1): 227–236, 2014.
17. Nhat Linh, NT., H. Thanh Tung, V. ThiHien, V. Quoc Luan, N. PhucHuy, N. Hoang Loc, D. Tan Nhut. Effect of metal nanoparticles on the growth of Ngoc Linh ginseng (*Panaxvietnamensis*

- Ha et Grushv.) lateral roots culture *in vitro* 126. 1: 47-56, 2017. <https://doi.org/10.26459/hue-uni-jns.v126i1C.4524>
18. Muthuramalingam TR., Gunasekaran D., Immanuel M., Riyaz M., Sundarajan D., Krishnan K. Nanobiotechnology approach using plant rooting hormone synthesized silver nanoparticle as “nanobullets” for the dynamic applications in horticulture - An *in vitro* and *ex vitro* study. Arabian Journal of Chemistry. 11: 48-61, 2018.
 19. Tymoszuik, A., and N. Miler. Silver and gold nanoparticles impact on *in vitro* adventitious organogenesis in chrysanthemum, gerbera and Cape Primrose. ScientiaHorticulturae. 257: 108-114, 2019.

Modificaciones en la estación de evaporación de un central azucarero

Leopoldo Rostgaard-Beltrán* y Raúl Sabadí-Díaz

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

Vía Blanca No. 804 y Carretera Central, San Miguel del Padrón. La Habana, Cuba.

*leopoldo.rostgaard@icidca.azcuba.cu

RESUMEN

Como parte de un análisis integral del proceso, en un central azucarero paralizado, para detectar cuellos de botella y etapas de proceso poco eficientes, con el fin de resolverlos o, al menos reducir su impacto negativo cuando el ingenio vuelva estar en operaciones, en este trabajo se describe el estudio realizado en la estación de calentamiento y evaporación de jugos de ese central. Debido a la escasez de caña y algunas otras deficiencias conocidas, también se desea valorar la disminución de la molida diaria de 5460 a 4500 toneladas de caña por día (tcd). Se identifica el problema en la capacidad del prevaporador y se propone una nueva configuración del equipamiento existente que incremente la superficie de intercambio calórico del prevaporador, que le permita trabajar a valores admisibles de su razón de evaporación y alcanzar 62.5 grados brix en la meladura, algo que no se logra con la configuración actual.

Palabras clave: energía, evaporación, central azucarero, eficiencia.

ABSTRACT

An integral study looking for identifying process bottlenecks and not efficient process stages is carried on in a not working sugar factory, with aims of solving them or at least reducing their negative impacts when the factory begins operations again. In this paper, the study done in the juice heating and evaporation station is presented. Due to lack of sugarcane and other process limitations, two milling rates are considered, 5460 and 4500 tons of cane per day (tcd). The main problem identified is the insufficient capacity of pre-evaporator. A new configuration of existing equipment is proposed, with higher heat exchange area allowing it to work at a adequate evaporation rate reaching 62.5 brix in massecuites, not reached with present configuration.

Key words: energy, evaporation, sugar factory, efficiency.

INTRODUCCIÓN

Se realizan estudios en un central azucarero que está paralizado temporalmente, por estrategia del país, por no existir caña suficiente. Este ingenio se prepara para recomenzar sus actividades productivas en la zafra 2023-24 y necesita prepararse adecuadamente para ese objetivo, razón por la que se sigue un plan de conservación (1) que incluye mantenimiento y reparación que permita tener a esta fábrica en buenas condiciones, cuando se inicie la cosecha.

Se realiza un estudio integral del proceso para detectar cuellos de botella y esquemas de trabajo poco eficientes, con el fin de resolverlos o, al menos, reducir su impacto negativo. También se realiza un estudio en el que se produce con dos masas cocidas, con el fin de simplificar el proceso y vender miel B producida a una destilería anexa. Debido a la escasez de caña y algunas otras de-

ficiencias conocidas, también se desea valorar la disminución de la molida diaria de 5460 a 4500 toneladas de caña por día (tcd).

En este trabajo se describe el estudio realizado en la estación de calentamiento y evaporación de jugos del central azucarero y se propone una nueva configuración del equipamiento existente que incremente la superficie de intercambio calórico del prevaporador, que le permita trabajar a valores admisibles de su razón de evaporación.

MATERIALES Y MÉTODOS

La instalación consta de un prevaporador de dos cuerpos y dos cuádruples posteriores, uno tipo BDM y el otro tipo CECA, con extracción de vapor de primer (V1) y segundo cuerpo (V2), para tachos y calentadores. No se asocian a un calentador de jugo clarificado. Dispone de nueve calentadores de jugo crudo, tipo Webre tradicionales, agrupados de tres en tres, que trabajan dos en paralelo y uno en limpieza. Trabajan con vapores de extracción V2, V1 y V1, y pueden ser, también, en caso de necesidad V2, V1 y escape. Tienen 33 tubos por pase. En la figura 1 se muestra la disposición de los cuerpos de evaporación existentes, y se indican sus superficies de intercambio calórico en pie².

En esta estación de evaporación, durante las zafas más recientes de este central, no se logró alcanzar valores de brix superiores a 56, en las meladuras, lo que indica una deficiente eficiencia energética del proceso.

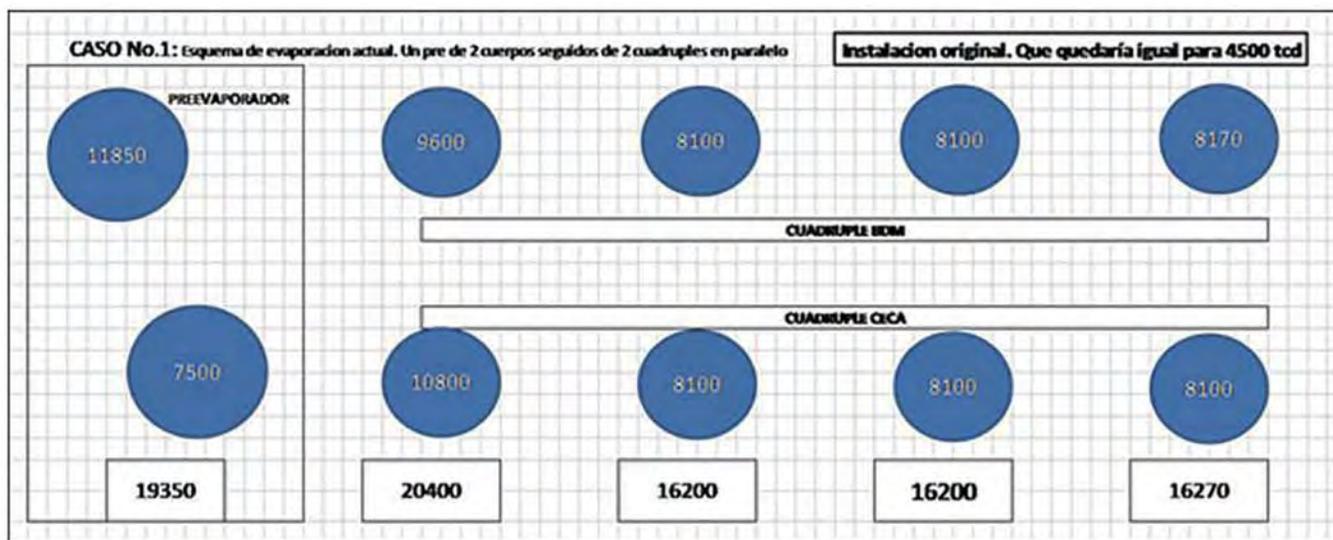


Figura 1. Estación de evaporación existente.

Para la realización del análisis se estudiaron cuatro escenarios, enfocados, en nuestro caso, en el comportamiento del evaporador. En las tablas 1, 2 y 3 se reportan los datos y resultados principales de la simulación.

Tabla 1. Escenario 1 (actual). Moliendo a razón de 5460 tcd

Reporte de la evaporación a quintuple efecto.						
Flujo de vapor al evaporador (t/hr)	98.293					
Flujo de vapor para calentar jugo clarificado (t/hr)	9.930					
Flujo de vapor para la evaporación (t/hr)	88.363					
Temperatura del vapor de escape (°C)	125.99					
Presión del vapor de escape (psig)	20.00					
Presión del vapor de escape (barg)	1.38					
Calor latente del vapor de escape (kcal/kg)	521.43					
Flujo de jugo clarificado (t/hr)	228.81					
Temperatura del jugo clarificado (°C)	95.00					
Brix del jugo clarificado (%)	14.24					
Brix de la meladura (%)	62.50					
% de evaporación	77.22					
	Vaso 1	Vaso 2	Vaso 3	Vaso 4	Vaso 5	General
Superficie de calentamiento (pie ²)	19350	20400	16200	16200	16270	88420
Superficie de calentamiento (m ²)	1798	1896	1506	1506	1512	8217
Presión de vapor en el cuerpo (psia)	28.16	21.62	15.08	8.54	2.00	
Presión de vapor en el cuerpo (psig)	13.66	7.12	0.58	-5.96	-12.50	
Calor latente del vapor (kcal/kg)	524.62	530.09	537.86	547.95	560.37	
Temperatura del vapor en el cuerpo (°C)	119.17	110.97	100.52	85.46	51.98	
Diferencia de temperatura por cuerpo (°C)	6.83	8.19	10.45	15.06	33.48	
Vapor evaporado (t/hr)	88.36	33.11	18.41	18.41	18.41	176.69
Vapor extraído (t/hr)	55.25	14.70	0.00	0.00	0.00	
Vapor al siguiente cuerpo (t/hr)	33.11	18.41	18.41	18.41	18.41	
Flujo de jugo a la salida del cuerpo (t/hr)	140.45	107.34	88.93	70.52	52.11	
Brix del jugo a la salida (%)	23.19	30.35	36.63	46.19	62.50	
Temperatura del jugo a la salida (°C)	119.74	111.87	101.83	87.62	56.22	
Elevación del punto ebullición (°C)	0.58	0.90	1.31	2.16	4.25	
Rate necesario de evaporación (kg/m ² *hr)	49.1	17.5	12.2	12.2	12.2	
Rate necesario de evaporación (lb/p ² *hr)	11.18	3.57	2.50	2.50	2.49	
Rate de evaporación recomendado (lb/p ² *hr)	6.50	6.00	5.50	5.00	5.00	
t de agua evaporada / t de vapor	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	
Superficie necesaria para tener 6.5 lb/p ² *hr	29908	12140	7363	8099	8099	
Calor transferido en kcal/m ² *hr	28500	9162	6481	6576	6671	

Los resultados que se obtienen en la valoración del funcionamiento del evaporador para enfrentar la molida solicitada, vaso a vaso y entre los resultados, las razones de evaporación necesarias (11.18) para lograr la densidad de meladura deseada. Evidentemente en el primer vaso nunca podrían alcanzarse dichos parámetros, razón por la cual el evaporador no alcanza la densidad de meladura deseada.

Tabla 2. Escenario 2 (actual con molida reducida). Moliendo a razón de 4500 tcd

Reporte de la evaporación a quintuple efecto.						
Flujo de vapor al evaporador (t/hr)	81.100					
Flujo de vapor para calentar jugo clarificado (t/hr)	8.184					
Flujo de vapor para la evaporación (t/hr)	72.916					
Temperatura del vapor de escape (°C)	125.99					
Presión del vapor de escape en (psia)	20.00					
Presión del vapor de escape (bara)	1.38					
Calor latente del vapor de escape (kcal/kg)	521.43					
Flujo de jugo clarificado (t/hr)	188.58					
Temperatura del jugo clarificado (°C)	95.00					
Brix del jugo clarificado (%)	14.24					
Brix de la meladura (%)	62.50					
% de evaporación	77.22					
	Vaso 1	Vaso 2	Vaso 3	Vaso 4	Vaso 5	General
Superficie de calentamiento (pie ²)	19350	20400	16200	16200	16270	88420
Superficie de calentamiento (m ²)	1798	1896	1506	1506	1512	8217
Presión de vapor en el cuerpo (psia)	28.16	21.62	15.08	8.54	2.00	
Presión de vapor en el cuerpo (psig)	13.66	7.12	0.58	-5.96	-12.50	
Calor latente del vapor (kcal/kg)	524.62	530.09	537.86	547.95	560.37	
Temperatura del vapor en el cuerpo (°C)	119.17	110.97	100.52	85.46	51.98	
Diferencia de temperatura por cuerpo (°C)	6.83	8.19	10.45	15.06	33.48	
Vapor evaporado (t/hr)	72.92	27.36	15.12	15.12	15.12	145.63
Vapor extraído (t/hr)	45.55	12.25	0.00	0.00	0.00	
Vapor al siguiente cuerpo (t/hr)	27.36	15.12	15.12	15.12	15.12	
Flujo de jugo a la salida del cuerpo (t/hr)	115.66	88.30	73.18	58.07	42.95	
Brix del jugo a la salida (%)	23.21	30.40	36.68	46.23	62.50	
Temperatura del jugo a la salida (°C)	119.74	111.87	101.84	87.63	56.22	
Elevación del punto ebullición (°C)	0.58	0.90	1.31	2.16	4.25	
Rate necesario de evaporación (kg/m ² *hr)	40.5	14.4	10.0	10.0	10.0	
Rate necesario de evaporación (lb/p ² *hr)	9.22	2.95	2.05	2.05	2.04	
Rate de evaporación recomendado (lb/p ² *hr)	6.50	6.00	5.50	5.00	5.00	
t de agua evaporada / t de vapor	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	
Superficie necesaria para tener 6.5 lb/p ² *hr	24679	10034	6046	6651	6651	
Calor transferido en kcal/m ² *hr	23515	7572	5322	5400	5478	

En esta tabla se observan las mejoras en las razones de evaporación necesarias (9.22), pero aún muy altos para alcanzar, al igual que en el caso anterior, la densidad de meladura deseada.

Tabla 3. Escenario 3. Moliendo a razón de 4500 tcd, el mismo anterior, pero con propuestas de mejoras al proceso con el arreglo y disposición de los vasos del pre-evaporador

Reporte de la Evaporación a Quintuple efecto. Esquema propuesto.						
Flujo de vapor al evaporador (t/hr)	80.989					
Flujo de vapor para calentar jugo clarificado (t/hr)	8.184					
Flujo de vapor para la evaporación (t/hr)	72.805					
Temperatura del vapor de escape (°C)	125.99					
Presión del vapor de escape en (psia)	20.00					
Presión del vapor de escape (bara)	1.38					
Calor latente del vapor de escape (kcal/kg)	521.43					
Flujo de jugo clarificado (t/hr)	188.58					
Temperatura del jugo clarificado (°C)	95.00					
Brix del jugo clarificado (%)	14.24					
Brix de la meladura (%)	62.50					
% de evaporación	77.22					
	Vaso 1	Vaso 2	Vaso 3	Vaso 4	Vaso 5	General
Superficie de calentamiento (pie ²)	28950	10800	8100	8100	8100	64050
Superficie de calentamiento (m ²)	2691	1004	753	753	753	5953
Presión de vapor en el cuerpo (psia)	28.16	21.62	15.08	8.54	2.00	
Presión de vapor en el cuerpo (psig)	13.66	7.12	0.58	-5.96	-12.50	
Calor latente del vapor (kcal/kg)	524.62	530.09	537.86	547.95	560.37	
Temperatura del vapor en el cuerpo (°C)	119.17	110.97	100.52	85.46	51.98	
Diferencia de temperatura por cuerpo (°C)	6.83	8.19	10.45	15.06	33.48	
Vapor evaporado (t/hr)	72.81	27.38	15.15	15.15	15.15	145.63
Vapor extraído (t/hr)	45.42	12.24	0.00	0.00	0.00	
Vapor al siguiente cuerpo (t/hr)	27.38	15.15	15.15	15.15	15.15	
Flujo de jugo a la salida del cuerpo (t/hr)	115.77	88.39	73.24	58.10	42.95	
Brix del jugo a la salida (%)	23.19	30.37	36.65	46.21	62.50	
Temperatura del jugo a la salida (°C)	119.74	111.87	101.83	87.62	56.22	
Elevación del punto ebullición (°C)	0.58	0.90	1.31	2.16	4.25	
Rate necesario de evaporación (kg/m ² *hr)	27.06	27.28	20.12	20.12	20.12	
Rate necesario de evaporación (lb/p ² *hr)	5.53	5.58	4.11	4.11	4.11	
Rate de evaporación recomendado lb/(p ² x hr)	6.50	6.00	5.50	5.00	5.00	
t de agua evaporada / t de vapor	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	
Superficie necesaria para tener 6.5 lb/p ² *hr	24642	10040	6059	6664	6664	
Calor transferido (kcal/m ² *hr)	15696	14312	10666	10822	11025	

Con el esquema propuesto, el evaporador se desempeña con las razones de evaporación normales y la densidad de la meladura deseada es perfectamente alcanzable.

Escenario 4. Se muele a razón de 4500 tcd, pero se producen sólo 2 masas cocidas, A y B.

Para este escenario el evaporador presenta un comportamiento adecuado, similar al escenario anterior.

En todos los casos, se trabajó para lograr un brix de 62.5 en la meladura, con el equipamiento disponible, sin inversiones altas en equipos nuevos o remodelados. Estos escenarios fueron simulados con la aplicación LERB (2, 3), que permite realizar los balances de materiales y energía del central azucarero.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se demuestra en el análisis realizado, que este sistema actual de evaporación no es adecuado para 5460 ni para 4500 tcd, incluso con esquema de dos masas cocidas. Obsérvese las razones de evaporación (figura 2); son inalcanzables para el prevaporador, aunque sí para los demás efectos.

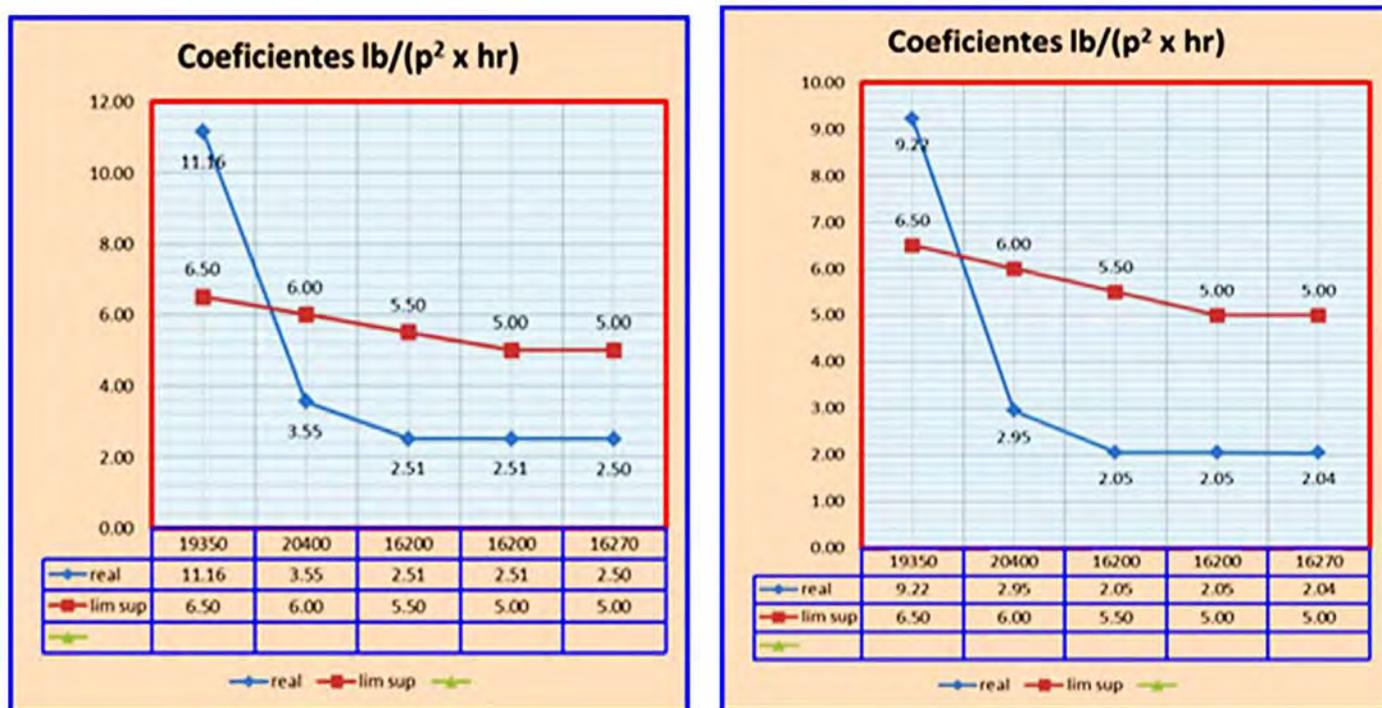


Figura 2. Razón de evaporación en cada efecto del evaporador, para las dos molidas estudiadas.

El sistema de evaporación no es eficiente. La capacidad del prevaporador es insuficiente para dar vapor a tachos y calentadores. Los cuerpos de los cuádruples quedan subutilizados. No contar con un calentador de jugo clarificado ha afectado la operación del evaporador severamente. La combinación de prevaporación establecida no tiene capacidad para enfrentar la molida de 5460 tcd ni la de 4500 tcd. Sin embargo, el prevaporador, ha tenido que utilizar alrededor del 10 % de su superficie para calentar el jugo clarificado.

Para resolver los inconvenientes anteriores se proponen las modificaciones que se muestran en la figura 3. Se observa que con esta nueva disposición del equipamiento disponible, el prevaporador logra trabajar a una razón de evaporación inferior al máximo deseado y quedan tres efectos disponibles.

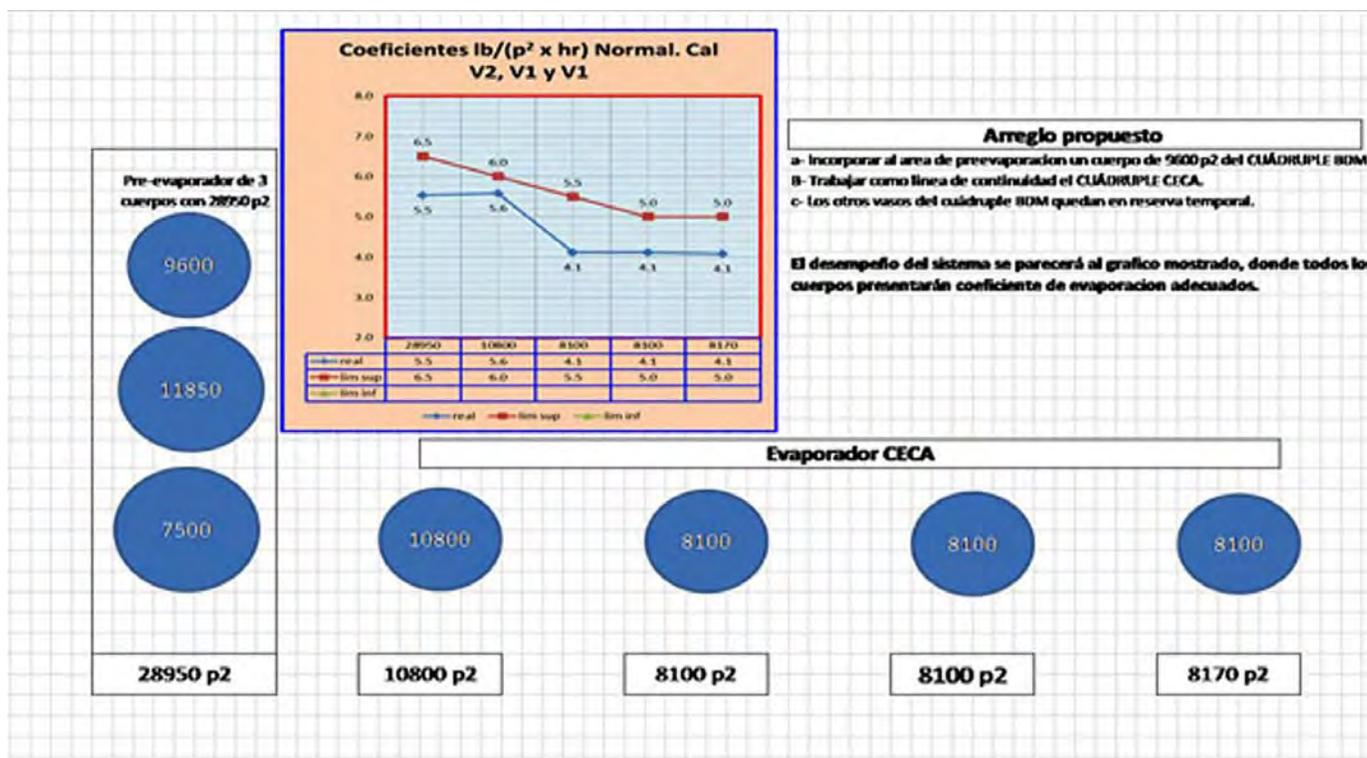


Figura 3. Modificaciones propuestas y efecto en la razón de evaporación del prevaporador.

Los calentadores de jugo crudo, para la molida de 5460 tcd y las condiciones operan con una velocidad de pase promedio de 1.63 m/seg, velocidad baja si la comparamos con la norma establecida de 1.83 a 2.13 m/seg. Cuando la molida se reduzca a 4500 tcd, la velocidad bajará hasta 1.34 m/seg. Con esta velocidad estos equipos pueden alcanzar la temperatura final deseada porque hay superficie disponible para ello; pero se corre el riesgo de que ocurran incrustaciones severas. Se debe analizar la acción de taponear tubos hasta alcanzar la velocidad requerida. Si se dejan 24 tubos por pase, se alcanza una velocidad de 1.84 m/seg y es posible, con la presión de vapor estable, alcanzar 104° C, con la combinación V2, V1, V1.

Con la nueva configuración propuesta se debe estudiar el sistema de limpieza de los evaporadores, pues ya no se dispondrá de dos líneas completas que permitan detener el ingenio para limpieza. Con ese propósito debe realizarse un análisis de interconexiones de los cuerpos con los que quedaron sin utilizar.

CONCLUSIONES

- La configuración actual de la estación de evaporación no permite lograr una concentración adecuada de la meladura, debido a una excesiva demanda de la razón de evaporación en el pre-evaporador.
- Se propone una nueva configuración del equipamiento existente que incremente la superficie de intercambio calórico del prevaporador, lo que le permita trabajar a valores admisibles de su razón de evaporación.
- Debe instalarse un calentador de jugo clarificado, que permitiría mejorar aún más la capacidad de trabajo del prevaporador.
- Es posible realizar interconexiones del sistema de evaporación propuesto, con los vasos que quedaron sin utilizar, para establecer un sistema de limpieza efectivo.

- Se debe analizar la acción de taponear tubos de calentadores de jugo crudo para alcanzar la velocidad requerida y evitar incrustaciones severas en estos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ICIDCA (2021). Manual de conservación de plantas industriales paralizadas. AZCUBA, La Habana, Cuba.
2. Rostgaard, L. (2018). Balances LERB. Presentación en Fórum de Ciencia y Técnica. ICIDCA, La Habana, Cuba.
3. Rostgaard, L.; Ribas, M.; Sbadí, R. (2019). Informe parcial de proyecto 652. Resultado 1. Modelo de balance de masa y energía para el análisis integrado del esquema de producción de azúcar. Etapa 1. Modelo del balance de masa y energía para el análisis y simulación del esquema de producción de azúcar. Fundamentos físicos y tecnológicos. ICIDCA, La Habana, Cuba.

Evaluación de extractos de semillas de *Moringa oleífera* en la descontaminación de aguas residuales de Fitomás

Sandra Isabel Fanego-Hernández^{1, 2*}, Annabellis Remedios-Gandol¹, Sara Mendoza-Ferrer¹, Caridad Curbelo-Hernández² y Georgina Michelena-Álvarez¹

1. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)
Vía Blanca No. 804 y Carretera Central, San Miguel del Padrón. La Habana. Cuba.

2. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría
Calle 114, No. 11901, Marianao. La Habana, Cuba

* sandra.fanego@icidca.azcuba.cu

RESUMEN

En este estudio se evalúan los extractos de semillas de *Moringa oleífera* como floculante para el pretratamiento de aguas residuales que resultan de la producción del bioestimulante Fitomás, antes de verterla hacia la red de alcantarillados. La extracción eficiente de sustancia(s) activa(s) que provoca(n) el fenómeno de floculación, es crucial para que la dosis a aplicar sea mínima y su acción floculante máxima. El objetivo de este trabajo fue determinar las condiciones óptimas de extracción del floculante de las semillas de *Moringa oleífera*, para obtener mayor concentración del principio activo y evaluar su efectividad floculante en aguas residuales de la planta de Fitomás. Las mejores condiciones de extracción se logran con 30 gramos de semilla y 30 minutos de agitación. Se alcanza la mayor efectividad del floculante con una dosis de 30 mL y una agitación de 30 minutos, a una velocidad de 40 min⁻¹.

Palabras clave: floculantes, *Moringa oleífera*, Fitomás, aguas residuales.

ABSTRACT

In this study is evaluated *Moringa oleifera* seed extracts as a flocculant to pretreatment of Fitomás waste water production before discharge into the sewage system. The efficient extraction of the active substance(s) that cause flocculation phenomenon is crucial so that the dose applied is minimal and its flocculant action is maximized. Therefore, this step is a decisive point in the process of obtaining a natural flocculant, hence one of the goal of this work is to determine the best conditions for the extraction of the flocculant from *Moringa oleifera* seeds, in order to obtain a higher concentration of the active principle and to evaluate its flocculant affectivity in wastewater from the Fitomás plant. The best extraction conditions are obtained with 30 g of seeds and 30 min of agitation. The highest effectiveness of the flocculant is reached for the 30 ml dose with an agitation of 30 min at speed of 40 min⁻¹.

key words: flocculants, *Moringa oleifera*, Fitomás, wastewater.

INTRODUCCIÓN

Las investigaciones para la obtención de floculantes naturales, cada vez son más numerosas y responden a la necesidad de eliminar o, al menos disminuir el empleo de los floculantes químicos, que pueden ser nocivos para la salud humana y contribuir a la contaminación ambiental. Con este fin, las semillas de *Moringa oleífera* se encuentran entre las materias primas, de origen natural, que

más atención se les ha prestado. Ellas han sido empleadas en el tratamiento de aguas residuales del proceso de beneficio del café, con turbidez mayor a 2000 Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT) y aguas provenientes del pelado químico de vegetales con 91.5 UNT, con resultados positivos (1). También se han empleado en el tratamiento de aguas superficiales y se demostró que dicho compuesto orgánico puede reemplazar los compuestos metálicos, normalmente utilizados como floculantes (2). En Cuba, además, se estudió el tratamiento de las aguas residuales provenientes de una planta municipal con este floculante y se obtuvo una reducción de más del 90 %, respecto a la Demanda Química (DQO) del agua inicial y la turbidez se redujo en 60.2 % (4).

En el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA) se vierten aguas residuales provenientes de la planta de producción de Fitomás hacia una cisterna de residuales. Aquí, una parte de los sólidos insolubles sedimentan, pero gran parte quedan en suspensión.

En el año 2017, el diagnóstico ambiental que se realizó a la producción de Fitomás, recomendó el establecimiento de tratamiento o pretratamiento de los residuales líquidos (5) y una oportunidad fue estudiar los extractos de semillas de *Moringa oleífera* como floculante natural, para el pretratamiento de estas aguas que se han de verter posteriormente hacia la red de alcantarillados.

Este trabajo persigue el objetivo de determinar las condiciones óptimas para la extracción del floculante de las semillas *Moringa oleífera*, con el fin de maximizar su concentración, así como, evaluar su actividad como floculante, en aguas residuales de la planta de Fitomás.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron semillas de *Moringa oleífera* procedentes de la Entidad de Ciencia, Tecnología e Innovación (ECTI) Sierra Maestra, las que se adquirieron como torta prensada dos veces, para la extracción de aceite.

Se utilizó agua residual de la cisterna donde vierte la planta de producción de Fitomás, se colectó el volumen necesario el mismo día, para evitar variaciones en su característica.

Se realizaron dos series de experimentos: la primera para determinar las mejores condiciones de extracción del agente floculante presente en las semillas de *Moringa oleífera*; la segunda para decidir la mejor dosis del floculante, obtenido según las condiciones establecidas. Para el estudio se empleó como extrayente una disolución de cloruro de calcio (0.5 mol/L).

Para estudiar el comportamiento de los parámetros se empleó un diseño experimental factorial multinivel, aleatorizado.

Para la primera serie de experimentos se establecieron como factores la masa de semillas de moringa triturada a cuatro niveles y el tiempo de agitación a dos niveles. Las variables respuesta fueron: Concentración de proteína (CPROT) y Brix refractométrico (BRIX).

La segunda serie de experimentos consistió en una prueba de jarras, en vasos de precipitados de un litro, que se agitaron individualmente, a una velocidad constante de 40 min⁻¹ (6, 7). Los factores para el diseño experimental que se tuvieron en cuenta fueron: el tiempo de agitación a tres niveles y la dosis del floculante de semillas de moringa a 4 niveles. Las variables respuesta fueron: la conductividad, turbidez y tiempo de sedimentación.

Para la determinación de la concentración de proteínas se empleó el método Bradford, con albúmina de suero bovino (BSA) como estándar proteico, ya que es económica y de fácil disponibilidad. Las mediciones para este método se realizaron en un espectrofotómetro a 595 nm, entre 2 y 60 minutos después de preparada la muestra (8).

El programa estadístico empleado para el estudio fue Statgraphics Centurion XVII.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de los valores de concentración de proteína total y brix en los extractos de moringa. Diseño experimental. Primera serie de experimentos

Del diseño experimental factorial multinivel aplicado a los resultados de la primera serie de experimentos, se obtuvo del análisis de varianzas, que la masa de semillas influye en la variabilidad de la concentración de proteínas, en los extractos floculantes con un 95 % de confiabilidad, de ahí que el modelo estadístico ajustado explique el 96.3 % de la variabilidad. En la ecuación de regresión ajustada al modelo, se puede observar que el factor de mayor peso es la masa de semilla (MSEM) lo que indica que, a mayor masa de semillas empleadas para la elaboración del floculante, mayor será la concentración de proteínas. Por tanto, el mejor experimento en este caso, es cuando se utilizan 30 gramos de semilla. Este resultado se corrobora en el diagrama de Pareto (figura. 1) en el que la MSEM es la variable que tiene mayor efecto sobre la concentración de proteínas, de manera proporcional.

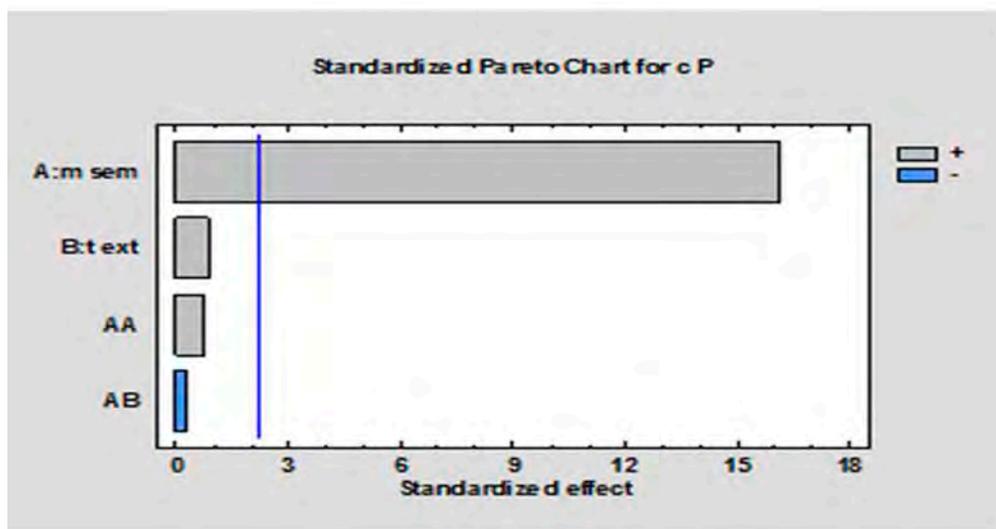


Figura 1. Variable independiente que modifica la concentración de proteína.

Para la variable brix, se aprecia que cuando la masa es de 30 gramos y el tiempo de extracción de 15 minutos el brix será mayor. Al analizar el diagrama de Pareto correspondiente, se aprecia que la

MSEM tiene un efecto mayor sobre la concentración de proteínas y la MSEM en su interacción con el tiempo desfavorece el aumento del BRIX.

No obstante, en el análisis estadístico de respuesta optimizada se determinó que, para alcanzar el máximo valor de concentración de proteínas, el tiempo de extracción debe ser máximo; o sea, 30 minutos, así como la masa de semilla empleada que debe ser de 30 gramos.

Medias de concentración de proteína: primera serie de experimentos

De los extractos salinos de semilla de moringa se reportan, en la literatura, concentraciones de proteína de: 5531 mg/L con empleo de disolución de cloruro de calcio como extrayente (9) y 1 0000 mg/L para el cloruro de potasio (10). Las diferencias pueden estar dadas por el medio que se utiliza para la extracción y el método utilizado para determinar la concentración de proteínas. En trabajos anteriores con el método Kjeldahl se sobrestimó la concentración de proteínas. En el presente experimento, con empleo de la disolución de cloruro de calcio, el mayor valor de proteínas obtenido fue 13 773 mg/L.

Análisis del diseño experimental, segunda serie de experimentos

En este caso se escogieron las condiciones en los que el floculante se obtuvo con mayor contenido de proteínas. Las dosis de floculante se aplicaron según las referencias (3, 4).

Conductividad

El análisis de Varianza de la conductividad arrojó que la dosis de floculante y el tiempo de agitación son factores significativos estadísticamente, para un 95 % de confiabilidad

En el gráfico de superficie respuesta estimada se indica que la disminución de la dosis favorece el aumento de conductividad, por lo que se deduce que la conductividad disminuye si la dosis del floculante aumenta, que es lo deseado. Así mismo, para que disminuya la conductividad, el tiempo de agitación debe aumentar.

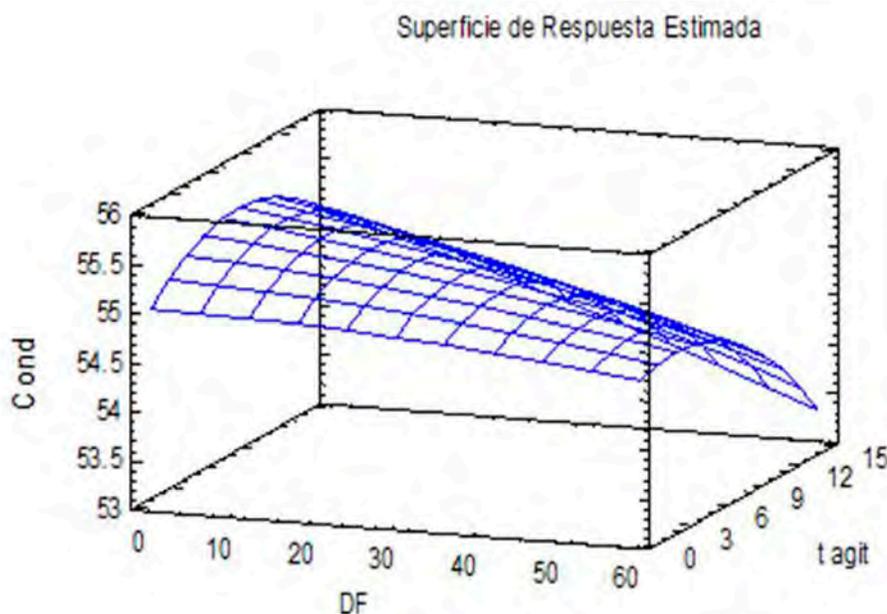


Figura. 2. Análisis de las condiciones óptimas experimentales en las que la conductividad es mínima.

Tiempo de sedimentación

Para el tiempo de sedimentación, el análisis de varianza reportó que el tiempo de agitación es el único factor estadísticamente significativo, para un 95 % de confiabilidad y, en la medida que decrece, disminuye el tiempo de sedimentación.

Al analizar las mejores condiciones experimentales en las que el tiempo de sedimentación es mínimo, se determina que el menor tiempo de agitación se logra cuando la dosis del floculante es máxima (60 mL y el tiempo de agitación es mínimo (3 minutos).

Turbidez

El análisis de varianza realizado para la turbidez arrojó que el tiempo de agitación, la dosis de floculante simple y cuadrática son factores estadísticamente significativos, para un 95 % de confiabilidad.

Además, se obtiene que el tiempo de agitación es el factor más significativo, seguido por la dosis de floculante de moringa simple y cuadrática, para un 95 % de confiabilidad. Igualmente, el tiempo de agitación y la dosis de floculante de moringa en su disminución contribuyen a un aumento de turbidez. Por tanto, con un aumento del tiempo de agitación y dosis de floculante, disminuye la turbidez de las aguas residuales tratadas de Fitomás.

Del análisis de las mejores condiciones experimentales se determina que, para obtener una turbidez mínima de las aguas residuales de Fitomás, el tiempo de agitación debe ser máximo (15 minutos) y la dosis de floculante debe ser máxima (60 mL).

Mejores condiciones experimentales para obtener baja turbidez y conductividad en las aguas residuales de Fitomás, debido al tratamiento con floculante natural de moringa

Para disminuir la conductividad, el tiempo de sedimentación y la turbidez de las aguas residuales de Fitomás, se analiza la optimización de cada una de estas respuestas, para las metas esperadas. De este análisis se obtiene, que un tiempo de agitación de 15 minutos favorece la disminución de la turbidez y la conductividad y la dosis de floculante 48.5 gramos.

Reducción de turbidez

Según el experimento realizado, la turbidez de la muestra de agua residual sin tratar con el floculante de semillas de moringa es 949 UNT. Para las aguas tratadas con floculante de moringa la menor turbidez fue 335 UNT, Por lo que se logra una reducción del 64.7 %, ligeramente mayor que la reportada en artículo publicado en el 2017 por Rondón-Macías *et al.* sobre el tratamiento de aguas residuales, de una planta municipal en Cuba (4). No obstante, las aguas con este nivel de turbidez no cumplen con las normas de vertimiento NC 27:2012 (11).

CONCLUSIONES

- Las mejores condiciones para la extracción del principio activo floculante de las semillas de moringa trituradas fueron: 30 gramos de semilla y 30 minutos de extracción.
- La mejor actividad floculante de los extractos de semillas de moringa en aguas residuales de Fitomás, se obtuvo para la dosis de 30 mL de floculante, con una agitación de 30 minutos, a una velocidad de 40 min⁻¹.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Mera Alegria CF, Gutiérrez Salamanca ML, Montes Rojas C, Paz Concha JP. Efecto de la *Moringa oleífera* en el tratamiento de aguas residuales en el Cauca, Colombia. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. 2016;14(2):100-9.
2. Cuadro Santana WA, Rodas Haz JE. Alternativa para sustitución de coagulantes metálicos aplicando almidón de yuca y *moringa oleífera* en el tratamiento de aguas superficiales [Tesis de Diploma]. Guayaquil-Ecuador: Universidad de Guayaquil; 2019.
3. de Lima NM. Aplicação da *Moringa oleífera* no tratamento de água com turbidez [Tesis de Maestría]. Recife: Universidade Católica de Pernambuco; febrero 2015.
4. Rondón-Macías M, Díaz-Domínguez Y, Rodríguez-Muñoz S, Guerra-Álvarez B, Fernández-Santana E, Tabio-García D. Empleo de semillas de *Moringa oleífera* en el tratamiento de residuales líquidos. Ingeniería Hidráulica y Ambiental. 2017;38(2):87-101.
5. Islen P, Michelena G, López O, Roget D. INFORME DE TAREA 8.1: Caracterización de los residuales de la producción de FITOMAS. Cuba: Instituto de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar, 2017.
6. Zeas Zeas BL. Estudio técnico económico del uso de la moringa como coagulante-floculante en aguas superficiales. [Tesis de diploma]. Guayaquil, Ecuador: Universidad de Guayaquil, 2018.

7. Lorenzo-Acosta Y. Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. Revista ICIDCA Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar. 2006; XL(2):10-7.
8. PanReac-AppliChem. Bradford-Solutions for protein determination. PanReac-AppliChem TW Reagents.
9. Gravatim Costa GH, Millena de Freitas C, Quintino Mendes F, Pelegrini Rovoero J, Rossini Mutton MJ. Acrylamide replaced by moringa extract in sugar production. Food Science and Technology. 2018;38(4):591-9.
10. Megat Mohd Noor MJ, Mohamed E, Mohammad T, Ghazali A. Effectiveness of salt-extracted freeze-dried Moringa oleífera as a coagulant. Desalination and Water Treatment. 2014;55:1-7.
11. Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado — Especificaciones, (2012).

Evaluación de técnicas de deshidratación de etanol para la obtención de etanol anhidro aplicando simulación

Brenda Rodríguez-Suárez, Osney Pérez-Ones* y Lourdes Zumalacárregui-de Cárdenas
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.

* osney@quimica.cujae.edu.cu

RESUMEN

En el trabajo se evaluó la tecnología de deshidratación de etanol por destilación extractiva con el empleo de diferentes solventes (tetraetilenglicol, [EMIM]⁺[BF₄]⁻, poliglicerol), con el simulador de procesos ASPEN HYSYS V10, a partir de datos obtenidos de la bibliografía consultada. Se analizaron los perfiles de temperatura, flujos molares de líquido y vapor y composición de las columnas presentes en cada proceso. Se determinó la influencia de los parámetros de operación en la eficiencia de las tecnologías simuladas, mediante casos de estudio y se seleccionaron las mejores condiciones de trabajo, al disminuir los altos consumos energéticos de ellas. Para la comparación de las tecnologías se estableció un mismo flujo molar de etanol en la mezcla etanol-agua de 216.5 kmol/h. En el caso de las tres tecnologías, se obtuvo etanol deshidratado por encima de 99.5 % de pureza. Según la evaluación económica de las técnicas, las alternativas analizadas son económicamente ventajosas y, en todas, se logran ganancias netas. Los mayores beneficios económicos se obtienen en la destilación extractiva con [EMIM]⁺[BF₄]⁻.

Palabras clave: deshidratación, etanol deshidratado, simulación, líquidos iónicos, polímeros hiperramificados.

ABSTRACT

In this research, the dehydration technology of ethanol was evaluated by extractive distillation using different solvents (tetraethylene glycol, [EMIM]⁺[BF₄]⁻, polyglycerol). Variants were simulated with the ASPEN HYSYS V10 process simulator from data obtained from the consulted bibliography. The profiles for temperature, liquid and vapor molar flows, and composition of the columns present in each process were analyzed. The influence of the operating parameters on the efficiency of the simulated technologies was determined by case studies and the best working conditions were selected, reducing their high energy consumption. For the comparison of the technologies, the same molar flow of ethanol was established in the ethanol-water mixture of 216.5 kmol / h. In the case of the three technologies, anhydrous ethanol was obtained with more than 99.5 % purity. According to the economic evaluation of the techniques, the alternatives analyzed are economically advantageous and net profits are achieved in all of them. The greatest economic benefits are obtained for the extractive distillation with [EMIM]⁺[BF₄]⁻.

Key words: dehydration, anhydrous ethanol, simulation, ionic liquids, hyperbranched polymers.

INTRODUCCIÓN

La búsqueda de nuevos combustibles, de origen biológico y renovable, biodegradables, capaces de aumentar el rendimiento de los motores de automóviles y la necesidad de disminuir la emanación de gases invernadero han contribuido a usar al etanol anhidro (EA) como combustible o aditivo para

gasolinas comerciales, a nivel mundial (1). Su mezcla con gasolina o petróleo proporciona un combustible de mejor calidad, principalmente porque es utilizado para oxigenar la gasolina. Esto permite un mayor completamiento de las reacciones de oxidación de los hidrocarburos y reduce las emisiones de monóxido de carbono, a la vez que disminuyen los compuestos aromáticos y compuestos orgánicos volátiles emitidos a la atmósfera, lo que contribuye a la reducción del efecto invernadero (2).

El 65 % de la producción mundial de etanol se emplea como combustible, ya sea para mezclar o reemplazar petróleo o derivados; un 19 % abarca el sector industrial (cosméticos, farmacéutica, químicas, entre otras) y, el 16 % restante, se destina a la industria de bebidas (3).

El proceso de producción de etanol deshidratado ha sido actualizado en años recientes y ha ganado en eficacia. La producción de etanol comienza con el proceso de fermentación, que proporciona una mezcla de etanol-agua con una concentración de etanol entre 4 y 6 % molar, que se destila y de la que se obtiene una mezcla etanol-agua, con una concentración que no supera el 89.99 % molar de etanol, a presión atmosférica; sin embargo, el contenido de agua presente en la mezcla, a pesar de ser pequeño, es perjudicial para los motores de combustión interna porque provoca problemas de corrosión.

Entre las alternativas tecnológicas para generar etanol deshidratado están la destilación, la adsorción, la pervaporación y combinaciones de estas tecnologías. La dificultad de separar la mezcla etanol-agua por destilación radica en su comportamiento termodinámico, pues forma una mezcla azeotrópica. Por consiguiente, es necesario implementar otras técnicas de destilación. Dentro de ellas se encuentran la destilación por cambio de presión, la destilación azeotrópica homogénea y heterogénea y la destilación extractiva (con sales, con glicoles, con polímeros y con líquidos iónicos). En la elección de la técnica más conveniente, se tienen en cuenta principalmente, el consumo energético y demás costos de operación, además de los costos de inversión inicial (3). Igualmente, el efecto sobre el ambiente ha de tenerse en cuenta en la decisión.

Debido a la importancia que reviste el uso del etanol deshidratado como factor de reducción de la contaminación atmosférica y como energía renovable, se necesita potenciar su producción eficientemente; es decir, se hace inevitable profundizar en el estudio de las técnicas de deshidratación para conocer cuál de ellas tiene mayor impacto técnico y económico en las condiciones de Cuba.

La simulación de procesos es una herramienta poderosa, que ha sido utilizada por muchos años en la ingeniería de procesos y ambiental. Brinda la posibilidad de estudiar los procesos de una manera más rápida, económica y completa que en la planta real en la que, en muchas ocasiones, resulta imposible o muy costoso estudiar condiciones extremas de operación. Muchas han sido las investigaciones realizadas para la deshidratación de alcohol con el uso de esta herramienta (4-10).

Es por ello que este trabajo tiene como objetivo evaluar el uso de la destilación extractiva con diferentes solventes, como vía económica para la obtención de etanol deshidratado. La simulación con ASPEN HYSYS. V10.0 de las tecnologías permitió el análisis de la influencia de los parámetros de operación en la eficiencia de las tecnologías simuladas y la comparación, desde el punto de vista técnico-económico de ellas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Simulación de las técnicas de deshidratación del etanol

La simulación del esquema de las tecnologías de deshidratación estudiada se realizó en el simulador de procesos Aspen HYSYS V10. Se emplearon mezclas de etanol-agua como fluido de trabajo, además de los solventes estudiados, según cada tecnología. Solamente se simuló la sección de deshidratación del proceso, al ser las etapas previas del proceso de producción de etanol comunes.

Para demostrar que el modelo seleccionado representa adecuadamente los sistemas, se compararon los resultados obtenidos en este trabajo para flujos molares y composición con los correspondientes ofrecidos por la literatura consultada. Posteriormente se verificó que el error relativo obtenido fuera menor que 5 %. El error relativo se calculó según la ecuación 1. Para la comparación con otras tecnologías evaluadas en el país se estableció que el flujo molar de etanol en la mezcla etanol-agua fuese el mismo, con un valor de 216.5 kmol/h.

$$\text{Error relativo} = \frac{\text{Valor en este trabajo} - \text{Valor reportado en bibliografía}}{\text{Valor reportado en bibliografía}} * 100 \quad \text{Ec.1}$$

Simulación de la destilación extractiva con tetraetilenglicol (DETG)

El tetraetilenglicol es un fuerte candidato para utilizarse en la destilación extractiva, ya que no forma azeótropo con el etanol ni con el agua, es completamente miscible en la mezcla y es un componente pesado. No es tóxico y no presenta riesgos para la salud, en caso de entrar en contacto con los ojos o de que se ingiera. Para la destilación extractiva con tetraetilenglicol (DETG), se utilizaron los datos ofrecidos por (11). Se escogió para trabajar el paquete de propiedades NRTL sobre la base de lo reportado por estos autores.

En la figura 1 se aprecia el esquema de simulación de la destilación extractiva con tetraetilenglicol, conformado por dos columnas consecutivas de destilación (extractora y recuperadora), un intercambiador de calor que se emplea como fluido frío, la mezcla de etanol-agua que se va a alimentar a la primera torre, una bomba y un mezclador. La solución alcohólica concentrada ingresa a un plato de la columna extractora y unos platos más arriba inyectan el agente de separación.

En la región entre la alimentación del solvente y la de la solución, el agua se absorbe por el solvente y se obtiene por el tope de la torre de vapor de etanol deshidratado. Este se condensa para convertirse en producto final, mientras que la mezcla etanol-agua-modificador desciende a la base de la columna. Esta corriente se envía a la columna recuperadora, en la que el agua se separa del solvente saliendo como producto de cabeza, mientras que el solvente recuperado se recicla a la columna extractora.

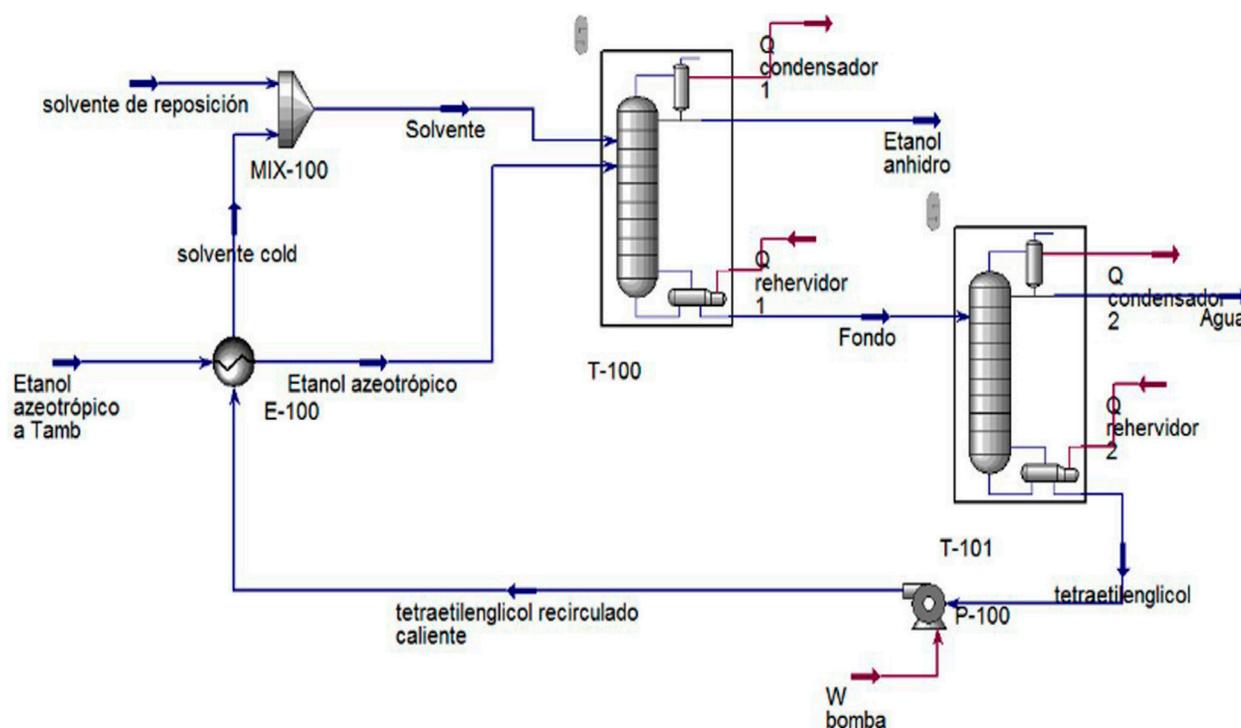


Figura 1. Esquema de simulación de la técnica de destilación extractiva con tetraetilenglicol.

En la tabla 1 se muestran los datos y variables de decisión correspondientes a los módulos y las corrientes del esquema simulado, según (11). Los nombres de las corrientes se corresponden con los del esquema de simulación para todas las tablas. La columna extractora opera a presión atmosférica. La alimentación del etanol azeotrópico y el solvente se realiza a presión atmosférica.

Tabla 1. Datos de las columnas y variables de decisión para la destilación extractiva con tetraetilenglicol (DETG)

Parámetros de las columnas	DETG	Variables de decisión	DETG
Presión de trabajo en la columna recuperadora (kPa)	26.34	Flujo molar de etanol azeotrópico (kmol/h)	0.100
Número de platos en la columna extractora	50	Fracción molar de etanol en el etanol azeotrópico	0.85
Número de platos en la columna recuperadora	6	Fracción molar de agua en el etanol azeotrópico	0.15
Razón de reflujo en la columna extractora	2.0	Temperatura del etanol azeotrópico (°C)	78.14
Razón de reflujo en la columna recuperadora	1.0	Flujo molar de solvente (kmol/h)	0.200
Plato de alimentación del etanol azeotrópico	45	Fracción molar de tetraetilenglicol en el solvente	1
Plato de alimentación del solvente	3	Temperatura del solvente (°C)	25
Plato de alimentación de la corriente fondo	5	Fracción molar de tetraetilenglicol en solvente de reposición	1

Simulación de la destilación extractiva con [EMIM]⁺[BF₄]⁻ (DELI)

El líquido iónico 1-etil-3-metil-imidazol tetrafluoroborato ([EMIM]⁺[BF₄]⁻) es un importante candidato para el uso como solvente, en la deshidratación de etanol, por sus atractivas características físico-químicas, además de que, en la mezcla etanol-agua, disminuye sustancialmente la actividad del agua y rompe fácilmente el azeótropo etanol-agua. Está compuesto por pequeños aniones y pequeños cationes y se comporta como un solvente atractivo, en lo que respecta a las investigaciones de mezclas azeotrópicas acuosas (12). Se utilizó Wilson, como paquete de propiedades termodinámicas.

En la figura 2 se muestra el esquema de simulación de la tecnología. Este está conformado por una columna de destilación deshidratadora, un tanque separador (tanque *flash*) que opera con aire y una columna rectificadora, que trabaja adiabáticamente sin condensador ni rehervidor. La columna deshidratadora se alimenta con la solución de etanol concentrado en uno de sus platos; mientras que en un plato superior es alimentado el solvente, en este caso el líquido iónico [EMIM]⁺[BF₄]⁻. Se obtiene en la corriente de tope de la columna el etanol deshidratado y en la corriente de fondo una mezcla de solvente, agua y etanol. Esta mezcla se envía al tanque *flash* donde se evapora parte del agua presente en ella, para luego, ser llevada a la columna recuperadora en la que se obtiene el solvente con un alto grado de pureza, el que se recircula a la columna deshidratadora.

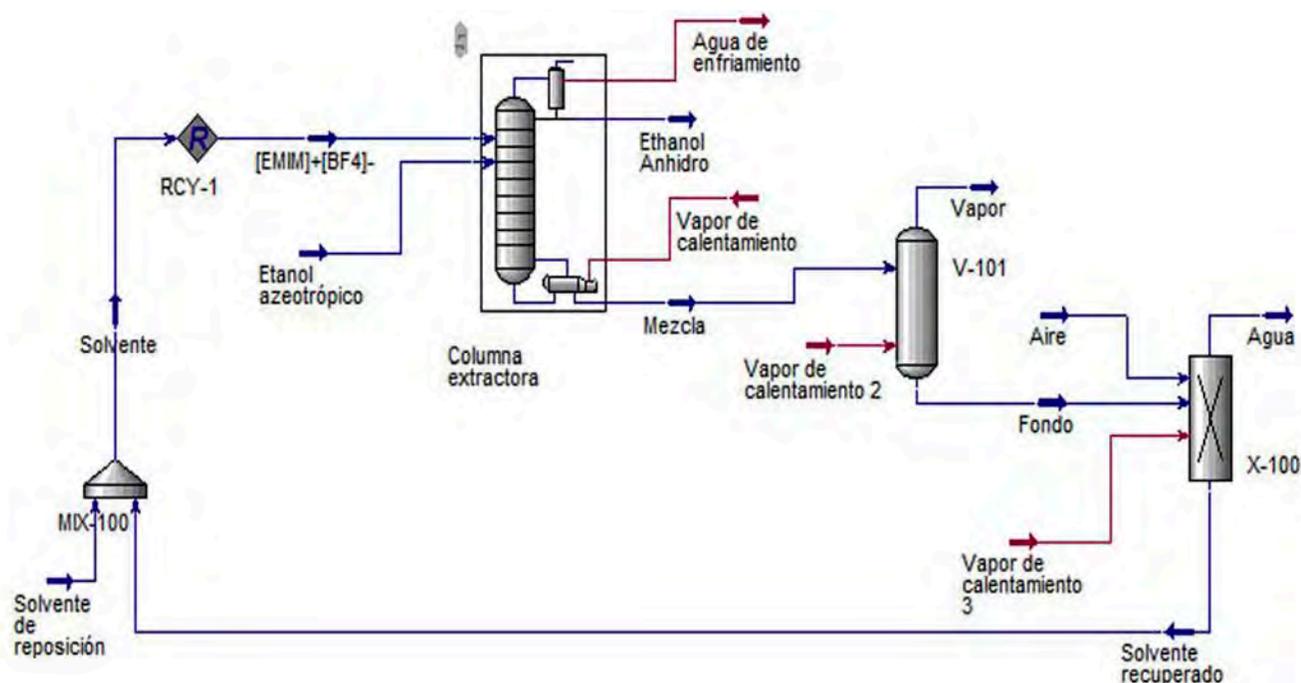


Figura 2. Esquema de simulación de la técnica de destilación extractiva con [EMIM]+[BF4].

En la tabla 2 se muestran los datos y variables de decisión correspondientes a los módulos y las corrientes del esquema simulado según (13). Las columnas deshidratadora y recuperadora y el tanque flash operan a presión atmosférica. el etanol azeotrópico y el solvente se alimentan a presión atmosférica.

Tabla 2. Datos de los equipos y variables de decisión para la destilación extractiva con [EMIM]+[BF4]- (DELI)

Parámetros del equipamiento	DELI	Variables de decisión	DELI
Número de etapas teóricas de la columna deshidratadora	28	Flujo molar de etanol azeotrópico (kmol/h)	200
Etapas de alimentación del etanol azeotrópico	22	Fracción molar de etanol en el etanol azeotrópico	0.700
Etapas de alimentación del solvente	1	Fracción molar de agua en el etanol azeotrópico	0.300
Número de etapas teóricas de la columna recuperadora	8	Temperatura del etanol azeotrópico (°C)	78.14
Etapas de alimentación de la corriente fondo	1	Flujo molar de solvente (kmol/h)	100
Calor intercambiado en el tanque (kJ/h)	637 200	Fracción molar de agua en el solvente	0.002
		Fracción molar de tetraetilenglicol en el solvente	0.998
		Temperatura del solvente (°C)	75
		Flujo de aire (kg/h)	13 896
		Temperatura del aire (°C)	20

Debido a que la base de datos del ASPEN HYSYS V10 no provee de datos de líquidos iónicos puros se creó un componente hipotético; al ser considerado el compuesto como una sal orgánica se toma como un componente orgánico. Para ello, en la tabla 3 se reportan parámetros básicos y críticos (14), así como las constantes de la ecuación de Antoine (ecuación 2), tomadas de (13):

$$\ln(P) = a + \frac{b}{T+c} + d \cdot \ln T + e \cdot T^f \quad \text{Ec. 2}$$

P : presión de vapor kPa; T : temperatura K

Tabla 3. Parámetros para la caracterización del [EMIM]⁺[BF4]⁻

Parámetros	Valores	Constantes de Antoine	
Masa molar (g/mol)	198.0	a	6.02
Punto de ebullición (°C)	165.7	b	-5 196.34
Densidad (kg/m ³)	1 240	c	-88.63
Temperatura crítica (°C)	321.1	d	0.00
Presión crítica (kPa)	2 360	e	0.00
Volumen crítico (m ³ /kmol)	0.5578	f	0.00
Factor acéntrico	0.7685		

Simulación de la destilación extractiva con poliglicerol (DEPG)

El poliglicerol (PG) pertenece a la familia de polímeros hiperramificados los que han demostrado tener variados usos en la industria química. Son sustancias altamente ramificadas, macromoléculas polidispersas con una topología en forma de árbol y un largo número de grupos funcionales. Debido a que no presentan una estructura estricta son capaces de sustituir a los dendrímeros en procesos, para los que no se requiera una estructura perfecta. La polaridad de estos puede ser ajustada al controlar la funcionalidad de los grupos terminales, por lo que su uso, como solvente, es altamente aprovechado (13).

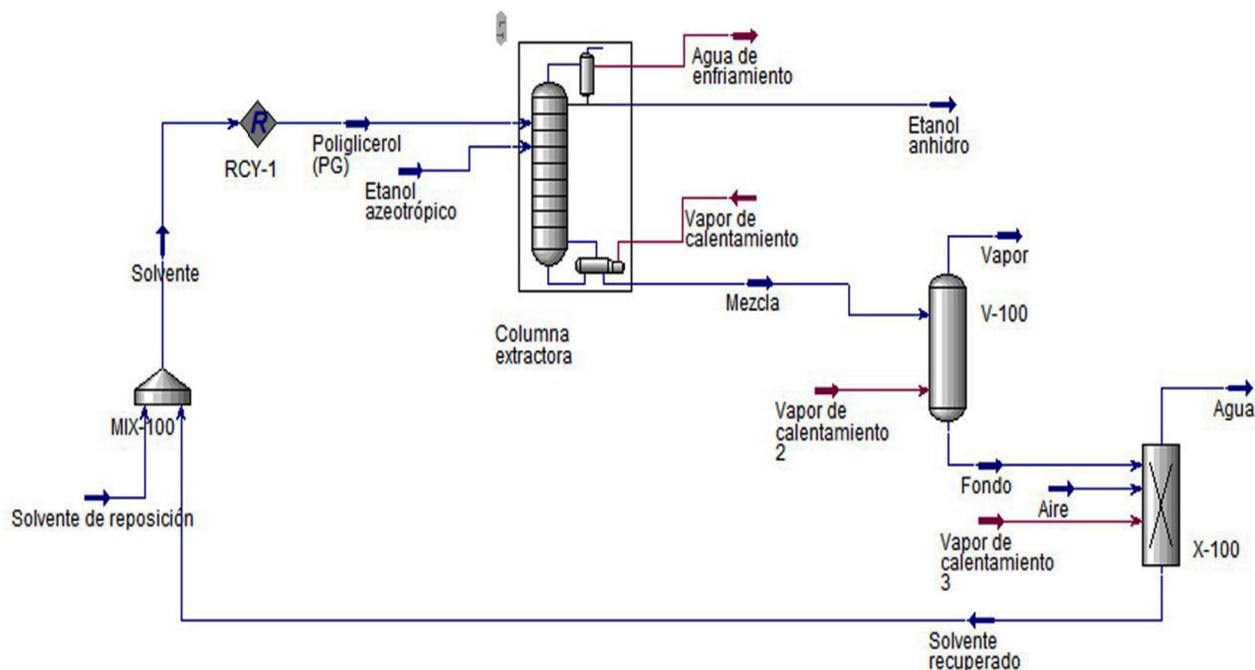


Figura 3. Esquema de simulación de la técnica de destilación extractiva con poliglicerol.

La simulación del proceso de destilación extractiva con poliglicerol (PG) se trabajó con el paquete de propiedades Wilson. En la figura 3 se muestra el esquema de simulación de la tecnología. Este está conformado por una columna de destilación deshidratadora, un tanque flash que opera con aire y una columna rectificadora que trabaja adiabáticamente sin condensador ni rehervidor. La columna deshidratadora es alimentada con la solución de etanol concentrado en uno de sus platos; mientras

que en un plato superior es alimentado el solvente, en este caso, el polímero hiperramificado poliglicerol (PG). Se obtiene en la corriente de tope de la columna el etanol anhidro y en la corriente de fondo una mezcla de solvente, agua y etanol. Esta mezcla se envía al tanque *flash* donde se evapora parte del agua presente en ella, para luego ser llevada a la columna recuperadora en la que se obtiene el solvente con un alto grado de pureza, el cual es recirculado a la columna deshidratadora.

En la tabla 4 se muestran los datos y variables de decisión correspondientes a los módulos y las corrientes del esquema simulado, según (13). Las columnas deshidratadora y recuperadora y el tanque flash operan a presión atmosférica. El etanol azeotrópico y el solvente se alimentan a presión atmosférica.

Tabla 4. Datos de los equipos y variables de decisión para la destilación extractiva con poliglicerol (DEPG)

Parámetros de equipamiento	DEPG	Variables	DEPG
Número de etapas teóricas de la columna deshidratadora	28	Flujo molar de etanol azeotrópico (kmol/h)	200
Etapas de alimentación del etanol azeotrópico	22	Fracción molar de etanol en el etanol azeotrópico	0.700
Etapas de alimentación del solvente	1	Fracción molar de agua en el etanol azeotrópico	0.300
Número de etapas teóricas de la columna recuperadora	8	Temperatura del etanol azeotrópico (°C)	78.14
Etapas de alimentación de la corriente fondo	1	Flujo molar de solvente (kmol/h)	7.25
Calor intercambiado en el tanque (kJ/h)	2 484 000	Fracción molar de agua en el solvente	0.002
		Fracción molar de tetraetilenglicol en el solvente	0.998
		Temperatura del solvente (°C)	75
		Flujo de aire (kg/h)	10 269
		Temperatura del aire (°C)	20

Debido a que la base de datos del ASPEN HYSYS V10 no proporciona datos de polímeros hiper-ramificados se creó un componente hipotético, al considerarse que es un compuesto orgánico con una masa molar de 1 400 g/mol y que presenta 20 grupos OH por molécula (14). La información se presenta en la tabla 5.

Tabla 5. Parámetros para la caracterización del poliglicerol

Parámetros	Valores	Constantes de Antoine	
Masa molar (g/mol)	1 400	a	-294,22
Punto de ebullición (°C)	503,1	b	66 420,46
Densidad (kg/m ³)	1 530	c	594,07
		d	35,73
		e	1,08 · 10 ⁻⁷
		f	-22,24

Una vez verificado que el porcentaje de error del modelo utilizado, para cada caso, fue inferior al 5 %, se procedió a simular cada técnica de destilación extractiva al mismo flujo molar de etanol en la corriente de entrada al sistema, para poder realizar la comparación entre las técnicas de deshidratación simuladas. El valor seleccionado corresponde al utilizado en otros trabajos de investigación de los autores (3, 9, 10, 15). En la tabla 6 se muestran las variables de decisión para las nuevas condiciones.

Tabla 6. Variables de decisión en la destilación extractiva para 216.5 kmol/h de etanol en la corriente de etanol azeotrópico

Tecnologías	Flujo molar de la corriente etanol azeotrópico (kmol/h)	Flujo molar de solvente (kmol/h)
DETG	255.0	510
DELI	309.5	155
DEPG	309.5	11

Casos de estudio

En la tabla 7 se presentan los casos de estudio para cada esquema de simulación y poder analizar la influencia de las variables de decisión sobre las variables de respuesta, con el objetivo de encontrar las mejores condiciones de trabajo para cada caso.

Tabla 7. Resumen de los casos de estudio evaluados para cada esquema simulado

	Variable de decisión	Intervalo	Variable respuesta
DETG Caso 1	Flujo molar de etanol azeotrópico alimentado en la primera columna	200 - 350 kmol/h	Flujo molar de la corriente etanol anhidro
DETG Caso 2	Temperatura del solvente	20 - 120 °C	Flujo molar de etanol anhidro
DETG Caso 3	Flujo molar de solvente alimentado	320 - 520 kmol/h	Fracción molar de etanol en la corriente de etanol anhidro
DETG Caso 4	Temperatura del solvente recirculado	20 - 120 °C	Consumo de vapor de calentamiento del rehervidor de la columna extractora
DETG Caso 5	Flujo molar de solvente alimentado	320 - 520 kmol/h	Consumo de vapor de calentamiento del rehervidor y el consumo de agua de enfriamiento del condensador en la columna extractora.
DETI Caso 1	Temperatura del solvente	50 - 150 °C.	Fracción molar de etanol
DETI Caso 2	Flujo de solvente	20 - 200 kmol/h.	Fracción molar de etanol
DETI Caso 3	Temperatura del solvente	50 - 150 °C	Flujo del agua de enfriamiento y del vapor de calentamiento en la columna deshidratadora
DETI Caso 4	Flujo de solvente	20 - 200 kmol/h.	Flujo del agua de enfriamiento y del vapor de calentamiento en la columna deshidratadora
DEPG Caso 1	Temperatura del solvente	50 - 150 °C.	Fracción molar de etanol
DEPG Caso 2	Flujo de solvente	2 - 20 kmol/h.	Fracción molar de etanol
DEPG Caso 3	Temperatura del solvente	50 - 150 °C	Flujo del agua de enfriamiento y del vapor de calentamiento en la columna deshidratadora
DEPG Caso 4	Flujo de solvente	2 - 20 kmol/h	Flujo del agua de enfriamiento y del vapor de calentamiento en la columna deshidratadora

Análisis económico comparativo entre las tecnologías

Para el análisis de prefactibilidad se determinó el costo de inversión total de la planta de deshidratación, parámetro a tener en cuenta para la selección de la mejor alternativa tecnológica. El costo de inversión se estableció a través del método de Peters (16), al tener en cuenta que la planta de deshidratación es una sección nueva, anexa a una destilería existente, que procesa fluidos. Se calcularon los indicadores Valor actual neto (VAN), Tasa interna de retorno (TIR), Plazo de recuperación del

capital al descontado (PRC) y Retorno sobre inversión (RSI). Se tomó un horizonte de planeación de 5 años y una tasa de interés del 12 %.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados de la validación de los modelos de simulación para las tres tecnologías

En la tabla 8 se muestra la comparación de los principales resultados obtenidos en este trabajo, con los reportados por (11, 12). A partir de esta comparación se concluye que el esquema de simulación desarrollado está verificado, al tener errores relativos menores de 5 %.

Tabla 8. Validación de las simulaciones de las tecnologías

Tecnología	Fuente	Flujo de etanol anhidro (kmol/h)	Error relativo porcentaje	Fracción molar etanol en etanol anhidro	Error relativo porcentaje	Fracción molar de solvente en solvente recirculado	Error relativo porcentaje
DETG	Este trabajo	0.0849	0.12	0.9989	0.76	1	0.00
	(11)	0.0850		0.9914		1	
DELI	Este trabajo	140	0.00	0.9996	0.16	0.9990	0.00
	(12)	140		0.9980		0.9990	
DEPG	Este trabajo	140	0.00	0.9998	0.18	0.9965	0.33
	(12)	140		0.9980		0.9998	

En la tabla 9 se presenta el resultado de la simulación de las tres tecnologías para las nuevas condiciones de operación, correspondientes a un flujo molar de etanol en la corriente etanol azeotrópico de 216.5 kmol/h. Se aprecia que en los tres casos se obtuvo más del 99.5 % de etanol en el etano anhidro y un solvente recuperado con una pureza mayor del 99.2 %.

Tabla 9. Resultados obtenidos con 216.5 kmol/h de etanol en la corriente etanol azeotrópico

Parámetro	DETG		DELI		DEPG	
	Etanol anhidro	Solvente recuperado	Etanol anhidro	Solvente recuperado	Etanol anhidro	Solvente recuperado
Flujo molar (kmol/h)	216.5	509.9	216.5	154.7	216.5	10.39
Fracción molar de etanol	0.9989	0	0.9996	0	0.9996	0
Fracción molar de solvente	0	0.9999	0	0.9989	0	0.9922

Resultados de los casos de estudio

En la figura 4 se muestra la influencia de las variables de decisión sobre las variables respuesta, para los casos de estudio de la tecnología DETG. Se puede observar cómo, en la medida en que se incrementa la temperatura del solvente, disminuye el flujo molar de etanol anhidro de manera drástica, a partir de 60 °C, que resulta perjudicial para el proceso y produce grandes pérdidas de etanol. Un aumento de la temperatura del solvente en un 79.16 % provoca una disminución del flujo de etanol anhidro, obtenido en un 36.6 %. Además, al aumentar la temperatura del solvente recirculado en un 79.16 % disminuye el consumo del agua de enfriamiento necesaria en el condensador en un 36.5 % y el consumo de vapor de calentamiento en el rehervidor disminuye en un 72.9 %. Queda demostrado que al aumentar la temperatura del solvente, se disminuyen los consumos de ambas facilidades auxiliares y se reduce el capital de trabajo requerido y, con ello, el de inversión.

Sin embargo, la disminución de la cantidad de etanol anhidro, obtenido al aumentar la temperatura por encima de 60 °C, limita el incremento posible de temperatura.

En la figura 4b se observa que, al aumentar el flujo molar de etanol azeotrópico, hasta un valor de 260 kmol/h, ocurre un aumento lineal del flujo de etanol anhidro obtenido. A partir de dicho punto este aumento es menos marcado hasta que llega a un valor constante de 225 kmol/h. Esto se debe a que, a altos valores de flujo molar de etanol azeotrópico, la cantidad de solvente incorporada a la torre no es suficiente para extraer el máximo de etanol presente en la corriente. Por otra parte, se aprecia que la pureza del etanol anhidro, según la norma, solamente se cumple por encima de 380 kmol/h (17). Además, la disminución del flujo molar de solvente alimentado a la torre provoca una disminución marcada en el vapor de calentamiento necesario en el rehervidor lo cual se traduce en una disminución beneficiosa del combustible necesario para el proceso. Una disminución del flujo de solvente en un 38.5 % provoca que disminuya el vapor de calentamiento necesario en un 44.7 %

Con el análisis de estos casos de estudio se demuestra que el proceso puede ser modificado para disminuir los consumos de combustible y de agua de enfriamiento en las columnas deshidratadora y recuperadora, para buscar mejoras energéticas; esto se logra al aumentar la temperatura del solvente alimentado a 30 °C y disminuir el flujo molar de solvente utilizado, a 410 kmol/h. El consumo de vapor en el rehervidor de la columna extractora y en la columna recuperadora disminuyó notablemente, por lo que se logró un ahorro de energía neto, en el caso de los rehervidores de 2 900 kW. El consumo de agua de enfriamiento en el condensador de la columna extractora aumentó en una pequeña proporción, con respecto a las condiciones de operación previas, mientras que el consumo de agua de enfriamiento del condensador de la columna recuperadora disminuyó. Se logró un ahorro de energía neto de 99 kW. Se logra un flujo molar de etanol anhidro de 216.5 kmol/h con una pureza del 99.6 % para cumplir con los estándares de producción de etanol deshidratado (17).

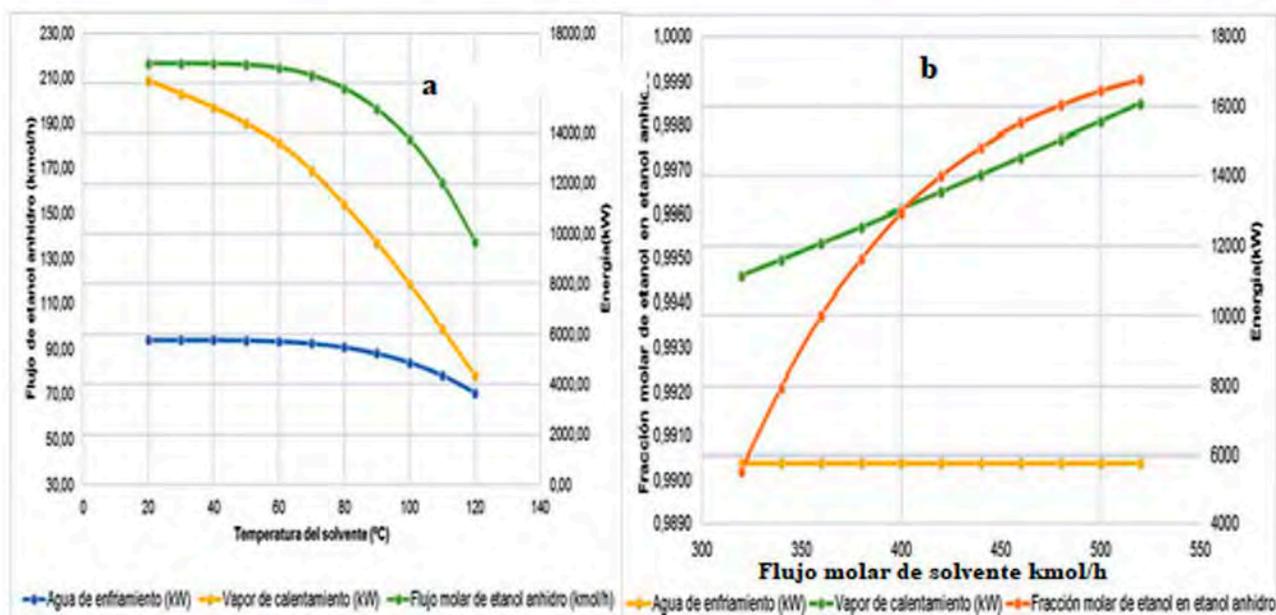


Figura 4. Resultados de los casos de estudio para la destilación extractiva con tetraetilenglicol.

En la figura 5 se muestra la influencia de las variables de decisión sobre las variables respuesta, para los casos de estudio de la tecnología DELI. En la figura 5a se aprecia que el aumento de la temperatura del solvente, hasta valores de 120 °C, influye muy poco en la pureza del etanol anhidro, pero si se continúa aumentando dicho parámetro, la composición molar del etanol comienza a disminuir, hasta llegar a valores inferiores a 0.9900 lo que es desfavorable. Este aumento de temperatura disminuye el consumo del vapor de calentamiento en el rehervidor de la columna extracto-

ra. También se puede observar que el consumo de agua de enfriamiento, en el condensador de la columna extractora aumenta, a medida que aumenta la temperatura del solvente.

En la figura 5b se observa que es posible disminuir el flujo de solvente utilizado, desde 155 kmol/h hasta 100 kmol/h, ya que la composición del etanol anhidro obtenido se mantiene constante. Flujos de solvente inferiores a 100 kmol/h son perjudiciales para el proceso, puesto que disminuye la pureza del etanol anhidro obtenido, mientras que flujos superiores son considerados gastos de solvente innecesarios. Disminuir el flujo de solvente causa una reducción del consumo de vapor de calentamiento y de agua de enfriamiento, lo que favorece el proceso.

Se decide disminuir el flujo de solvente a utilizar en la destilación extractiva con [EMIM]⁺[BF4]⁻ hasta 100 kmol/h, con lo que se logra un ahorro energético de 421 kW en el consumo de vapor de calentamiento y de 46 kW en el de agua de enfriamiento, al producir 216.5 kmol/h de etanol anhidro con una pureza de 99.92 %.

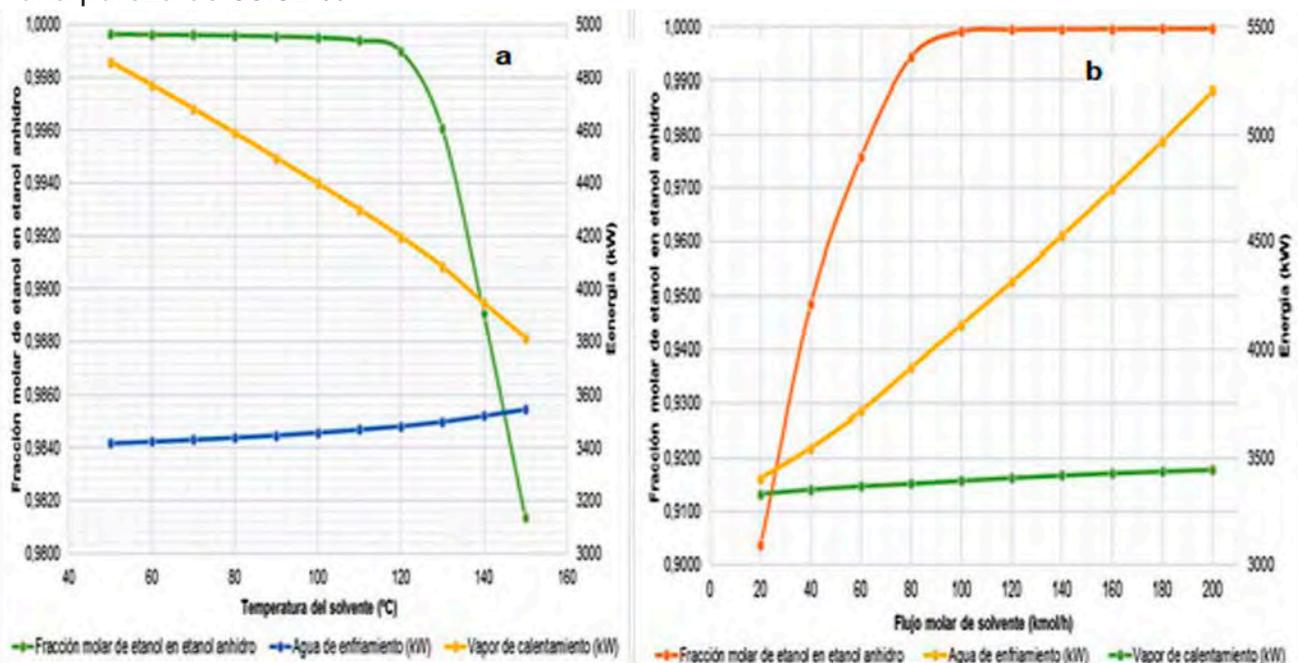


Figura 5. Resultados de los casos de estudio para la destilación extractiva con [EMIM]⁺[BF4]⁻.

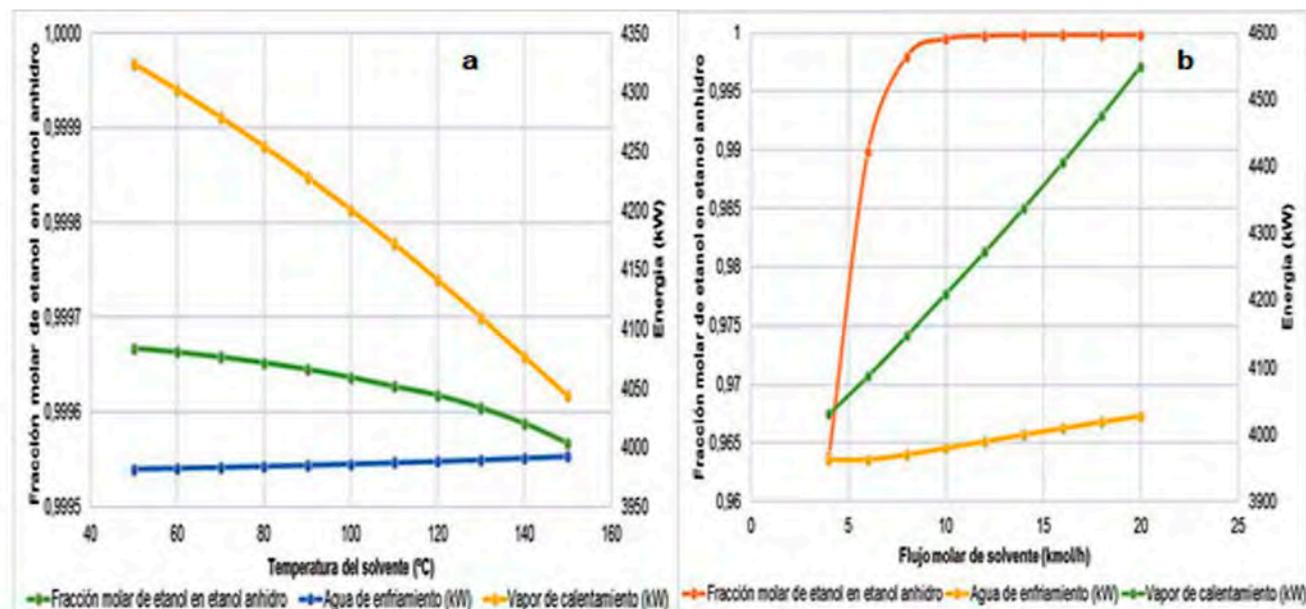


Figura 6. Resultados de los casos de estudio para la destilación extractiva con poliglicerol.

En la figura 6 se muestra la influencia de las variables de decisión sobre las variables respuesta, para los casos de estudio de la tecnología DEPG. En la figura 6a se aprecia que la influencia de la temperatura del solvente sobre la fracción molar del etanol en la corriente de etanol anhidro es prácticamente despreciable, pues un aumento de la temperatura en un 66.7 % provoca una disminución de 0.03 %. El aumento de la temperatura del solvente en un 66.7 % provoca un aumento del 0.15 % del agua de enfriamiento necesaria en el condensador y una disminución de 5.67 % de la cantidad de vapor necesaria en el rehervidor de la torre.

En la figura 6b se muestra un flujo molar de solvente inferior a 10 kmol/h que provoca una disminución de la pureza del producto obtenido, al perderse la condición de etanol deshidratado. A flujos mayores se mantiene la pureza constante. Por otra parte, la disminución del flujo de solvente aportaría un pequeño ahorro energético, pero no se alcanzaría la condición de etanol anhidro. Por consiguiente, se determina que las actuales condiciones de trabajo son las más favorables y permiten garantizar la obtención del etanol deshidratado con un alto nivel de pureza.

Comparación económica entre las tecnologías

En la tabla 10 se presentan indicadores que muestran la rentabilidad del proceso. Se observa que las alternativas son económicamente ventajosas, pues presentan, todas, Valor actual neto (VAN) positivo. Se obtienen mayores beneficios en la destilación extractiva con [EMIM]⁺[BF4]⁻. En todos los casos, la TIR presenta valores por encima de la tasa de interés de la que la empresa puede obtener fondos (tasa de interés del 12 %) y el RSI es superior al 20 %, que demuestra que las inversiones son atractivas. En todas las alternativas, la inversión se recupera mediante las ganancias netas obtenidas, en un tiempo inferior a cinco años. La destilación extractiva con [EMIM]⁺[BF4]⁻ es la que mayor valor de TIR y RSI presenta, al convertirse en la mejor alternativa, pues integra todos los indicadores.

Tabla 10. Indicadores económicos para la comparación de las tecnologías

Indicadores	DETG	DELI	DEPG
Costo de adquisición del equipamiento (\$)	1 315 500	879 500	879 500
Costo de inversión total (\$)	7 485 195	5 004 355	5 004 355
Ganancia neta (\$/año)	1 688 971	2 577 332	2 506 959
Valor actual neto (VAN)	\$ 2 057 870	\$ 9 558 148	\$ 9 160 523
Tasa interna de retorno (TIR)	18 %	51 %	49 %
Plazo de recuperación del capital (PRC) al descontado	3.41 años	1.35 años	1.39 años
Retorno sobre inversión (RSI)	29 %	74 %	72 %

CONCLUSIONES

Mediante el simulador ASPEN HYSYS V10 se logró la validación de los modelos de simulación de las tecnologías de destilación extractiva con tetraetilenglicol, [EMIM]⁺[BF4]⁻ y poliglicerol con errores relativos menores al 5 %. Con el caso de estudio se analizó la influencia de las variaciones de temperaturas y flujos de algunas corrientes sobre las diferentes variables. Esto permitió la selección de mejores condiciones de trabajo en los intervalos estudiados, específicamente en la tecnología de destilación extractiva con tetraetilenglicol. Las tecnologías estudiadas mostraron ser lucrativas, al producir ganancias antes de los cinco años de implementada la inversión. La destilación extractiva con [EMIM]⁺[BF4]⁻ resultó ser la más factible.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Lugo, A. S., Sánchez, V. G. Etanol a partir de la fermentación de biomasa empleado en mezclas con gasolina como combustible” En: Innovación de energía y soluciones medioambientales, México: Editorial Red Iberoamericana de Academias de Investigación. 2021. pp. 78-88. ISBN 978-607-99111-5-7.
2. Lauzurique, Y., Acosta, L., Pérez, O., Zumalacárregui, L. Procesos de separación en la producción de etanol anhidro. La Habana: Cujae, 2013. 64 pp. ISBN 978-959-261-446-8.
3. Lauzurique, Y., Zumalacárregui, L., Pérez, O., Molina, G. Evaluación de técnicas de deshidratación de etanol aplicando la simulación. DYNA, 84(200):185-192, 2016.
4. Souza, A. E. C., Cerqueira, D. A., Sousa, N. G., Cardoso, C. R. Simulation of the extractive distillation process to produce anhydrous ethanol using ethylene glycol as a separating agent. Research, Society and Developmen, 10(4):1-13, 2021. doi: 10.33448/rsd-v10i4.14228.
5. Ma, S., Hou, Y., Sun, Y., Li, J., Li, Y., Sun, L. Simulation and experiment for ethanol dehydration using low transition temperature mixtures (LTTMs) as entrainers. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, 121:71-80, Nov 2017. doi.org/10.1016/j.cep.2017.08.009.
6. Ebrahimiaqda, E., Ogden, K. L. Simulation and Cost Analysis of Distillation and Purification Step in Production of Anhydrous Ethanol from Sweet Sorghum. ACS Sustainable Chemistry and Engineering, 5(8):6854-6862, 2017. doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b01082.
7. Vargas, R., Guadalupe, M., & Quintero-Márquez, E. Control of an Azeotropic Distillation Process for Anhydrous Ethanol Production. 21st International Conference on Electrical Communications and Computers (CONIELECOMP), San Andres Cholula, Mexico. 28 Feb-2 March, 2011. doi: 10.1109/CONIELECOMP.2011.5749345.
8. Anisuzzaman, S. M., Krishnaiah, D., Bono, A., Lahin, F. A., & Syazryn R. I. “Simulation of Fermentation Compounds for Bioethanol Production Using Different Separating Agents. Pertanika J. Sci. & Techno, vol. 26 (3):1111 – 1130, 2018.
9. Lauzurique, Y., Zumalacárregui L., Pérez O. Simulación de la destilación por cambio de presión para obtener etanol deshidratado. Centro Azúcar, 43(4): 90-98, 2016.
10. Lauzurique, Y., Pérez O., Zumalacárregui L., Rojas, D. Simulación de la destilación extractiva con sales para la obtención de etanol deshidratado. Revista Mexicana de Ingeniería Química, 10(3,):1055-1066, 2017.
11. Ravagnani, M. A. S. S., Reisa, M. H. M., Filhob, R. M., Wolf-Macielb, M. R. Anhydrous ethanol production by extractive distillation: A solvent case study. Process Safety and Environmental Protection, 88: 67-73, 2010.
12. Seiler, M., Jork, C., Kavarnou, A., Arlt, W., Hirsch, R. Separation of Azeotropic Mixtures Using Hyperbranched Polymers or Ionic Liquids. AIChE Journal, 50(10):2439-2454, 2004. doi.org/10.1002/aic.10249.
13. Seiler, M., Jork, C., Schneider, T., Arlt, W. Ionic Liquids and Hyperbranched Polymers – Promising New Classes of Selective Entrainers for Extractive Distillation. Separation and Purification Technology, 30(2):179-197, 2003. doi.org/10.1016/S1383-5866(02)00197-1.
14. Valderrama, J. O., Robles, P. A. Critical Properties, Normal Boiling Temperatures, and Acentric Factors of Fifty Ionic Liquids. Ind. Eng. Chem. Res, 46(4):1338-1344, 2007. doi.org/10.1021/ie0603058.
15. Lauzurique, Y., Zumalacárregui L., Pérez O., Curbelo, A. Simulación de la destilación extractiva para la obtención de etanol anhidro empleando glicoles. Ciencia, Docencia y Tecnología, 27(53) 362-383, 2016.
16. Peters, M. Timmerhaus, K. Plant Design and Economics for Chemical Engineers. 5th edition, EEUU: McGraw Hill, 2003, pp. 988. ISBN 0-07-119872-5.
17. Oficina Nacional De Normalización. NC 1290: 2019. Alcohol etílico-Términos y definiciones. Norma Cubana. 2019.

Tratamiento de aguas residuales de una planta de levadura, a partir de filtración por membranas

Yaima Izquierdo-González*, Georgina Michelena-Álvarez y Yohana de la Hoz-Izquierdo
Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)
Vía Blanca 804 y Carretera Central, San Miguel de Padrón. La Habana, Cuba
* yaima.izquierdo@icidca.azcuba.cu

RESUMEN

La tecnología de membrana como alternativa para el manejo de la vinaza de destilerías permite reducir el volumen de cargas contaminantes, para ser reutilizadas en el fertirriego y en reutilización del agua en la industria. Se realizó una evaluación de sistema de filtración mediante membranas y, con el auxilio de la simulación, proponer combinaciones de membranas que resulten más promisorias desde el punto de vista técnico y económico. Los mejores resultados se obtuvieron con la membrana de 1kDa, que permitió remover el 58 % de los ST, el 70 % de la MO, el 92 % de la turbidez y el 82 % del color. Las experiencias durante el tratamiento de vinazas, con etapas combinadas de (NF) y (RO) reportaron los mejores resultados para presiones de 3.5 MPa, por un mayor flujo de permeado y retención del 80 % de los ST y logrando retener los SD entre 60-70 %.

Palabras clave: tipos de membranas, vinazas de destilerías, tratamiento de residuales.

ABSTRACT

Membrane technology as an alternative for the management of distilleries vinasse, allows to reduce the volume of polluting loads, to be reused in fertigation and/or reuse of water in the industry. An evaluation of the membrane filtration system was carried out and, with the help of simulation, combinations of membranes that are more promising from a technical and economic point of view were proposed. The best results were obtained with the 1kDa membrane, which allowed to remove 58 % of the ST, 70 % of the OM, 92 % of the turbidity and 82 % of the color. The experiences during the treatment of vinasses with combined stages of (NF) and (RO) reported the best results for pressures of 3.5 MPa, given by a higher flow of permeate and retention of 80 % of the ST and managing to retain the SD between 60-70 %.

Key words: types of membranes, stillages from distilleries, residual treatment.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la industria azucarera y sus derivados, es una de las fuentes de más impacto en la contaminación, debido a la generación de importantes 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, ya que deben ser tratados adecuadamente a fin de reducir la contaminación ambiental (1).

En Cuba, la producción de derivados, a partir de la caña de azúcar, tiene un significado importante para el desarrollo del país; entre esos derivados se destaca la levadura *Torula* (proteína que se desarrolla a partir de mieles y aguas residuales de la producción de alcoholes), tanto por su utilización en la alimentación animal como como por ser un renglón exportable, por ello se continúa con el desarrollo de este producto (2).

La producción de levadura *Torula* genera aguas residuales (RLT) que, por su contenido de materia orgánica, constituye una fuente de contaminación cuando se vierte al medio (3). Para evitar esas contaminaciones es necesario obtener información, medios y mecanismos que permitan utilizarlos y lograr beneficios económicos y sociales (4, 5).

De ahí que constituya una necesidad de buscar nuevas herramientas que ayuden a mejorar la calidad de los residuos industriales líquidos, que a diario son vertidos. Los procesos de separación y purificación de productos, mediante tecnologías de membranas, han tenido un gran éxito en el campo de la biotecnología, en los que están involucrados relativamente bajos volúmenes de productos de alto valor agregado.

En un inicio, estas técnicas resultaban en extremo costosas, dado el alto valor de las membranas, el limitado tiempo de vida de estas y la operación con altas presiones. Sin embargo, el ulterior desarrollo de estas tecnologías y la aparición de las membranas de cerámica, que pueden durar varios años, ha permitido extender estos procesos al tratamiento de efluentes industriales, con volúmenes significativamente superiores tratados. Internacionalmente, hoy se reportan estudios y aplicaciones de las tecnologías de membranas para el tratamiento de una gran diversidad de efluentes industriales, entre los que se destacan el tratamiento de residuales urbanos (6) y de la industria alimenticia (7), entre otros.

Sin embargo, estos estudios resumen las experiencias alcanzadas con estas tecnologías en el tratamiento de residuales provenientes de la industria azucarera, en particular en el tratamiento de vinazas de destilerías. Las tecnologías de membranas han sido evaluadas con resultados alentadores en el manejo de vinazas y otros efluentes resultantes de la producción de etanol, a partir de diversas materias primas. Una excelente revisión sobre el estado del arte en la temática ha sido publicada por Shivajirao (8).

El presente trabajo considera las experiencias internacionales registradas en el tratamiento de aguas residuales de una planta de levadura, a partir de filtración por membranas y con el auxilio de la simulación y propone combinaciones de membranas que resulten más promisorias para el reúso del agua de permeado, a partir de sistemas de filtración por membranas.

MATERIALES Y MÉTODOS

A partir de los resultados obtenidos por diversos investigadores se formula un modelo en Microsoft Excel dirigido a determinar la mejor combinación de membranas para la clarificación de vinazas, dirigido a minimizar el valor de inversión y aumentar el flujo de permeado, ya que se desea una inversión mínima con un flujo de permeado máximo. En la tabla 1 se brindan las características más importantes de estos efluentes, donde es posible apreciar la superioridad agresiva de las mieles de caña.

Tabla 1. Características de los efluentes de la agroindustrias azucareras (Dpto. CENGMA, ICIDCA)

Parámetros	Unidad	Residuales de <i>Torula</i>	NC 27: 2012
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/l	3870	160
Demanda biológica de oxígeno (DBO)	mg/l	1935	60
pH	-	3.39	6-9
Conductividad eléctrica (CE)	mS/cm	2.23	2.0
Temperatura	°C	25.6	-
Sólidos totales (ST)	mg/l	6635	-
Sólidos totales fijos (STF)	mg/l	1620	-
Sólidos totales volátiles (STV)	mg/l	5015	-
Fósforo (Pt)	mg/l	31	5

Aunque el tratamiento de vinazas de destilerías ha sido el objetivo más abordado por investigadores y suministradores de tecnologías de membranas, en el contexto de los residuales de la agroindustria azucarera, otros residuos líquidos han sido y, continúan siendo, objeto del interés de este sector, ya que las regulaciones nacionales e internacionales para el vertimiento de aguas en ríos y mares son cada día más exigentes, mientras que procesos antes considerados como adecuados, dado los niveles logrados de reducción de la Demanda química de oxígeno (DQO) y de la Demanda biológica de oxígeno (DBO), no cumplen los estándares establecidos para el vertimiento (9, 10, 11).

Tecnologías de membrana que resultan de interés en el manejo de efluentes, para las industrias

- Vinazas de destilerías que operan con mieles y jugos de caña de azúcar
- Pretratamiento de vinazas para la elevación de su conversión a metano
- Postratamiento de residuales líquidos provenientes de la producción de Biogás
- Pretratamiento de vinazas para la elevación de su conversión en levadura forrajera
- Tratamiento de residuales líquidos provenientes de la producción de levadura forrajera

La experiencia internacional evidencia que el empleo exitoso de las tecnologías de membranas exige brindar la mejor solución a aquellos factores que inciden en la economía del proceso. En primera instancia, se debe destacar la importancia de la reducción de las incrustaciones en la membrana, ya que ello incrementa los costos de operación y reduce la vida útil de estas, por lo que muchos autores coinciden en la necesidad de algún tipo de pretratamiento previo a la filtración con membranas; estos pueden considerar etapas de clarificación-sedimentación con la adición de coagulantes, centrifugación y filtraciones convencionales o sin ellas (12).

La selección del tipo de membrana y combinaciones de estas constituye un factor determinante en la eficiencia del proceso, pues en función de las características de los residuos se adopta una valoración totalmente experimental. Otro factor de vital importancia consiste en la determinación de las condiciones de operación, por cuanto es deseable lograr el mayor flujo de permeado posible, a la par de una mayor retención de sólidos totales (ST), Demanda química de oxígeno (DQO) y color (13). El incremento de la presión transmembrana favorece el aumento del flujo de permeado y la retención de compuestos indeseables pero, a su vez, incrementa las demandas de energía por bombeo y eleva los costos de inversión y operación (14).

Tabla 2. Niveles de remoción de ST. SDT. SST. DQO. cloruros y potasio. según diversos autores (15. 16. 17. 18)

Referencia	Membrana	Presión (MPa)	ST(%)	SDT(%)	SST(%)	DQO(%)	K(%)
Gutiérrez <i>et al.</i> , 2009	1 kDa	0.7	58	-	-	70	-
Gutiérrez <i>et al.</i> , 2009	15 kDa	0.7	52	-	-	60	-
Nataraj <i>et al.</i> , 2006		7	-	99	-	98.9	99.80
De Moraes, 20 11	100 kDa	0.34	40	36.8	100	-	13.80
De Moraes, 2011	0.2 um	0.34	40	32	100	-	17.80
De Moraes, 20 11	100 kDa + 300 Da	3.5	81.4	-	100	-	54.31
De Moraes, 2011	100 kDa + 500 Da	3.5	85	-	100	-	62.07
De Moraes, 20 11	100 kDa + 1000 Da	3.5	83.8	-	100	-	65.52
De Moraes, 2011	0.2 um + 300 Da	3.5	83.2	-	100	-	81.09
De Moraes, 20 11	0.2 um + 500 Da	3.5	83.8	-	100	-	73.70
De Moraes, 2011	0.2 um + 1000 Da	3.5	80.8	-	100	-	69.59
Murthy y Chaudhari, 2009		2.0	-	97.9	95.5	96.8	94.65

Los niveles de remoción de algunos elementos de la composición de las vinazas aparecen resumidos en la tabla 2. En esta se muestran los resultados reportados por diversos autores, en cuanto a remoción de sólidos totales (ST), sólidos disueltos totales (SDT), sólidos suspendidos totales (SST), así como materia orgánica (DQO) y potasio. Los mejores resultados se reportan para los procesos en dos etapas, particularmente aquellos que cierran con ósmosis inversa.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Simulación de un posible esquema para tratamiento de vinaza

De acuerdo con estas experiencias internacionales es posible modelar el comportamiento de estos sistemas, frente a algunos de los efluentes de la industria, para disponer de una orientación sobre el nivel de descontaminación esperado, al aplicar las tecnologías de membranas. Por supuesto, los resultados de la simulación constituyen un indicador orientativo y, en ningún caso, sus resultados pueden ser tomados como absolutos, pues aun cuando se trate de efluentes con propiedades físicas globales semejantes a las analizadas, las membranas de UF, NF y RO remueven los compuestos de acuerdo con el tamaño de las moléculas y la naturaleza química de los efluentes puede variar significativamente, en función de diversos factores, tales como: tipo de suelos, variedad de caña empleada y particularidades de los procesos productivos de etanol, azúcar y levadura.

En principio, puede ser considerado un proceso de tres etapas, compuesto por una etapa primaria de clarificación, decantador centrífugo o filtración convencional, dirigida a la separación de los sólidos suspendidos, para reducir los niveles de obstrucción de membranas y los ciclos de limpieza de estas. Posteriormente se requerirán, al menos, dos etapas de separación por membranas; una primera etapa dirigida a retener el mayor nivel de materia orgánica y compuestos de altos pesos moleculares, con una mínima reducción del flujo de permeado, la cual puede consistir en una etapa de microfiltración (MF) o ultrafiltración (UF). La segunda etapa de separación por membranas debe garantizar el mayor flujo de permeado, con el máximo nivel de retención, para garantizar un permeado reutilizable en el proceso o que pueda ser vertido sin restricción, por lo que es posible pensar en una etapa de nanofiltración (NF) u ósmosis inversa (RO), (figura 1). El flujo final de sólidos y materia orgánica retenida puede ser destinado a la elaboración de fertilizante orgánico o compost.

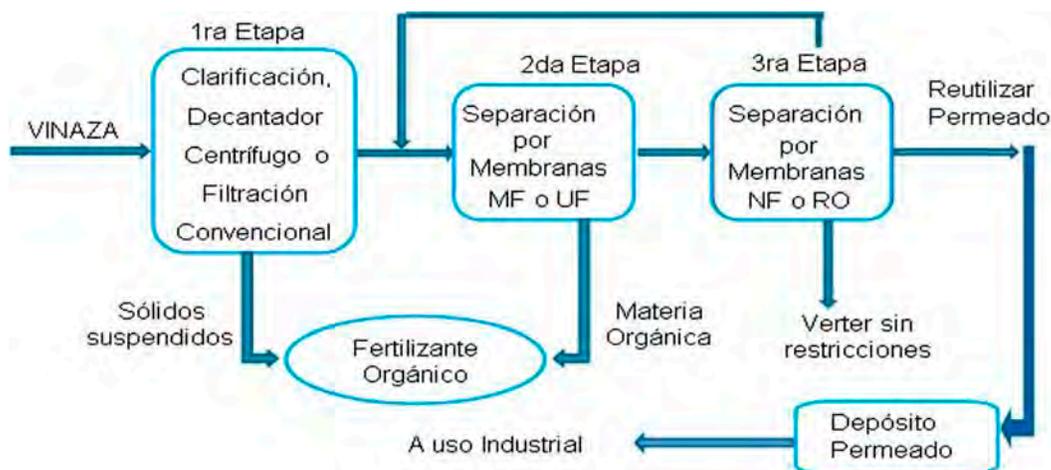


Figura 1. Diseño de reuso de agua de permeado, a partir de sistemas de membranas.

Los resultados de la simulación del proceso para diversas combinaciones de membranas en las etapas 2 y 3 se muestran en la tabla 3. Como era de esperar, en todos los casos las respuestas

indicaron la conveniencia de trabajar a las máximas presiones, en cada etapa, dentro de los rangos establecidos como permisibles. El porcentaje de recobrado promedio fue de 82.24 % del flujo de alimentación.

Tabla 3. Resultados de la simulación en diversos esquemas de dos etapas

Etapa 1	Etapa 2	Flujo de permeado % Aliment.	R-ST (%)	R-MO (%)	STp (%)	Mop (%)	Presión etapa 1 (bar)	Área 1 (m ²)	Área 2 (m ²)	Inversión (MM \$)	Costo \$/t
1 Kda	300 Da	81.73	92.56	84.77	0.95	0.53	35.00	1251	316	1.23	6.69
1 Kda	500 Da	81.70	92.56	87.18	0.80	0.53	35.00	1253	398	1.29	7.03
1 Kda	1000 Da	81.69	92.56	86.25	0.86	0.53	35.00	1251	164	1.13	6.10
1 Kda	RO	81.13	98.76	99.39	0.04	0.09	19.39	1269	369	1.28	6.97
15 Kda	300 Da	81.96	89.49	80.38	1.22	0.75	35.00	885	316	1.05	5.28
15 Kda	500 Da	81.96	89.49	83.32	1.04	0.75	35.00	885	164	1.08	5.61
15 Kda	1000 Da	81.96	89.49	82.18	1.11	0.75	35.00	885	179	0.92	4.68
15 Kda	RO	39.36	95.20	89.35	0.10	0.26	19.92	889	179	0.93	4.75

Los mejores resultados se obtuvieron con la membrana de 1 kDa, la cual permitió remover el 58 % de los sólidos totales, el 70 % de la materia orgánica (MO), el 92 % de la turbidez y el 82 % del color. Las experiencias durante el tratamiento de vinazas, con etapas combinadas de nanofiltración (NF) y ósmosis inversa (RO), reportó los mejores resultados para presiones de 3.5MPa, dados por un mayor flujo de permeado y retención del 80 % de los sólidos totales y logró retener los sólidos disueltos entre un 60-70 %, DQO, DBO, sulfatos y el potasio en 97.9 %, 96.8 %, 97.9 % y 99.7, respectivamente.

Consideraciones económicas

Según informaciones provenientes de diversos suministradores, una instalación de este tipo, para el tratamiento de 30-35 t/h de vinazas puede representar una inversión de entre 0.68 y 1.3MM de USD. Los elementos más importantes de los costos de operación constituyen los gastos energéticos por bombeo, la reposición de membranas (14) y los costos de limpieza de estas (8).

Impacto ambiental de las vinazas

La disposición de las vinazas al medio ambiente es peligrosa y tiene un alto potencial de contaminación. El alto contenido de DQO, nitrógeno total y fósforo total del efluente puede ocasionar eutrofización de cuerpos de agua naturales. Los componentes altamente coloreados de la vinaza reducen la penetración de la luz solar en ríos, lagos o lagunas que, a su vez, disminuye significativamente la actividad fotosintética y concentración de oxígeno disuelto, lo que afecta la vida acuática (5).

Debido a lo anterior, al descargar vinazas de alcohol al suelo, cuerpos de agua, canales y otros., sin un tratamiento previo, se contaminarán, en gran medida, las fuentes de aguas superficiales y subterráneas, así como los mantos freáticos, esto provocará una gran alteración al medio ambiente, que repercutirá en los seres vivos.

Por otra parte, el fertirriego del cultivo de la caña de azúcar, a partir de vinazas, ha estado limitado en Cuba, debido al tipo de suelo, al bajo pH de las vinazas, a la saturación de potasio y a la norma de diluir estas para su uso (NC:ISO 855:2011), que ha limitado su empleo y ha quedado, parte de la vinaza, sin ser tratada y su posible disposición a cuerpos receptores como ríos y mares, sin cumplir con las normas cubanas de vertimiento (NC 27: 2012 y NC 521: 2007).

El tratamiento de la vinaza, principal agua residual emitida por la industria alcoholera, no debe ser una carga económica para la destilería sino una vía para obtener un producto con valor comer-

cial, cuya venta le permita ingresos económicos y la obtención de materias primas y alimentos que sustituyan importaciones.

CONCLUSIONES

- Se ha demostrado que la tecnología de membranas es capaz de reducir el volumen de cargas contaminantes, tales como: color, turbidez y otros, encontrados en las vinazas y permite que sean reutilizadas en el fertirriego y como agua para la industria.
- Los resultados de la simulación mostrados en este trabajo ratifican la necesidad de operar con las máximas presiones, dentro de los rangos permisibles para cada tipo de membrana y cerrar con etapas de NF y RO, para lograr altos niveles de remoción de sólidos y DQO.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Fitzgibbon J. F., Nigam, P. "Biological treatment of distillery waste for pollution- remediation". *Journal of Basic Microbiology*, Vol. 35, No.5, (1995), pp. 293-301.
2. Harada H., Uemura N. and Jayadevan J. "Anaerobic treatment of a recalcitrant distillery wastewater by a thermophilic UASB reactor". *Bioresearch. Technology*, Vol. 55, No. 3, (1996), pp. 215-221.
3. Pérez, I. Informe de la actualización del estado del arte de la producción de la levadura forrajera y del empleo de las vinazas de destilerías., No. 503, (2012), pp. 76-79.
4. Duran, C., Noyola, A., Poggi, H. y Zedillo, L.E. Uso eficiente del agua y la energía en ingenios azucareros alcohólicos. UNAM, México (1991).
5. Mohana, S., Desai, C., Madamwar, D. Biodegradation and decolourization of anaerobically treated distillery spent wash by a novel bacterial consortium. *Bioresource Technology* 98, (2007), pp. 333 -339.
6. Nguyen, T., Fan, L., Roddick, F., y Harris, J., A comparative study of microfiltration and ultrafiltration of activated slugged-lagoon effluent., *Desalination*, Vol. 236, No. 01-Mar, (2007), pp. 208-215.
7. Muro, C., Escobar, J., Zavala, R., Esparza, M., Castellanos, J., Gómez, R., y García, M., Evaluación del proceso de microfiltración en un efluente residual de una industria alimenticia para su reúso., *Revista internacional de contaminación ambiental*, Vol. 25, No. 4, (2009), pp. 229-238.
8. Shivajirao, P., Treatment of distillery wastewater using membrane technologies., *International Journal of Advanced Eng. Res and Studies*, Vol. I, No. III, (2012), pp. 275-283.
9. NC: 27:2012. Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Oficina Nacional de Normalización, 2012.
10. NC 855:2011. Utilización de las aguas residuales de la industria azucarera y de derivados en el fertirriego de la caña de azúcar.
11. NC 521 (2007). Vertimiento de aguas residuales a la zona costera y aguas marinas. Especificaciones. 1. Edición ICS: 13.060.30.
12. Chang, I., Choo, K., Lee, C., Pek, U., Koh, U., Kim, S., y Koh, J., Application of ceramic membranes as pretreatment in anaerobic digestion of alcohol distillery waste., *Journal of Membrane Science*, Vol. 90, (1994), pp. 131-139.
13. Magalhães, N.C. et al. Treatment of Vinasse Employing Ultrafiltration Combined with Aerobic Bioreactor with Membrane and Post-treatment with Nanofiltration Allowing it to Reuse. *Procedia Engineering*, 44, (2012), pp.1923–1924.

14. Arora, A., Set, A., Dien, B., L, Belyea, R., Wang, P., Singh, V., Tumbleson, M., y Rausch, K., Microfiltration of thin stillage: Process simulation and economic analysis., *Biomass and Bioenergy*, Vol. 35, No. 1, (2011), pp. 113-120.
15. Gutiérrez, C., Grosso, J., Bullón, J., Rennola, L., Salazar, F., y Cárdenas, A., Ultrafiltración de vinazas provenientes de destilerías de etanol, *Revista Ciencia e Ingeniería*, Vol. 30, No. 2, (2009), pp. 121-126.
16. Nataraj, S., Hosamani, K. y Aminabhavi, T., Distillery wastewater treatment by the membrane-based nanofiltration and reverse osmosis processes., *Water Research*, Vol. 40, No. 12, (2006), pp. 2349-2356.
17. De Moraes, M., Concentração da vinhaça por microfiltração seguida de nanofiltração, Tesis presentada en opción al grado de máster, Campinas, Brasil, (2011).
18. Murthy, Z., y Chaudhari, L., Treatment of distillery spend wash by combined UF and RO processes. *Global Nest Journal*, Vol. 11, No. 2, (2009), pp. 235-240.

Diagnóstico y propuesta de acciones para la reducción de la carga contaminante de los residuales líquidos de un central azucarero

Yohana De la Hoz-Izquierdo¹, Georgina Michelena-Álvarez¹, Yaima Izquierdo-González¹, Pedro Pérez-Álvarez² y Orly López-Delgado¹

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

Vía Blanca No. 804 y Carretera Central, San Miguel del Padrón. La Habana. Cuba.

2. Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (INTEC). Ave. Salvador Allende, No.1110, entre Ave. Rancho Boyeros y Cda. de Infanta, Quinta de los Molinos. Plaza de la Revolución. La Habana.

* yohana.delahoz@icidca.azcuba.cu

RESUMEN

En un escenario de crecimiento poblacional, incremento de la contaminación ambiental y la escasez de fuentes de abasto de agua, la gestión eficiente es un factor clave para garantizar la disponibilidad de ese recurso. Este trabajo se realizó en el central Boris Luis Santa Coloma. La caracterización de las aguas residuales provenientes del proceso productivo determinó que no cumple con las especificaciones para su vertimiento, por lo que se identificaron las deficiencias del proceso que contribuyen con las altas cargas contaminantes en sus residuales líquidos y se realizó una propuesta de acciones para la reducción de la contaminación. Con el objetivo de disminuir los consumos de agua, cerrar ciclos en el equipamiento industrial y reutilizar este recurso, se planteó una inversión cuya estimación económica determinó un Valor actual neto (VAN) positivo y un periodo de recuperación de la inversión de año y medio, considerados parámetros económicos favorables.

Palabras clave: aguas, aguas residuales, medio ambiente.

ABSTRACT

In a scenario of population growth, increased environmental pollution, and the scarcity of water supply sources, efficient management is a key factor in guaranteeing the availability of this resource. This work was carried out at the Boris Luis Santa Coloma power plant. The characterization of the wastewater from the production process determined that it does not meet the specifications for its discharge, for which the deficiencies of the process that contribute to the high contaminant loads in its liquid waste were identified and a proposal of actions was made to pollution reduction. With the aim of reducing water consumption, closing cycles in industrial equipment and reusing this resource, an investment was proposed whose economic estimate determined a positive Net Present Value (NPV) and an investment recovery period of a year and a half, which which are considered favorable economic parameters.

Key words: water, wastewater, environment.

INTRODUCCIÓN

La industria azucarera se considera una de las más antiguas, tanto en el país como en el mundo. En sus inicios, esta industria se proyectó y construyó sin tener en cuenta el volumen y el impacto de los residuales líquidos, que se caracterizan por ser altamente agresivos y tóxicos (1). Las consecuencias de las decisiones tomadas han traído enormes daños al medioambiente, la mayoría de las veces irreversibles (2). Uno de los problemas que más gravemente ha afectado a la industria

azucarera durante las últimas zafras ha sido la gestión del agua, que es utilizada en grandes cantidades. Estas industrias se destacan como la de mayor extracción de agua cruda y la de mayor descarga como residual líquido al medioambiente. De ahí que se justifique la necesidad de tomar las medidas para reducir el volumen y disminuir la carga de contaminación que producen estas aguas y darles el tratamiento adecuado (3).

Este trabajo está relacionado con el impacto ambiental causado por los ingenios azucareros en la provincia de Mayabeque; se evaluarán cada una de las afectaciones que estos han provocado al medioambiente y se propondrán alternativas a las ya existentes para mitigar el problema.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un diagnóstico para la revisión ambiental inicial en la UEB, que permitió un primer acercamiento al problema y que consistió en:

- Evaluar los parámetros físico-químicos de los residuales líquidos de la UEB central azucarero Boris Luis Santa Coloma, de la provincia de Mayabeque.
- Diagnosticar la situación actual del sistema de tratamiento al que se vierten las aguas residuales tratadas del UEB central azucarero Boris Luis Santa Coloma, de la provincia de Mayabeque.
- Proponer acciones para la reducción de la carga contaminante de los residuales líquidos en el proceso de fabricación de azúcar y de residuales.
- Evaluar económicamente una etapa del proceso en la que se produzcan ahorros por concepto de reúso de agua.

Caracterización de las aguas

La caracterización de las aguas fue realizada en los laboratorios LAGUAZUR, pertenecientes al Centro Nacional de Gestión de Medio Ambiente (CENGMA), ambos fueron creados por el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), para el desarrollo de estudios de tratamiento y disposición de los residuales de la industria azucarera y sus derivados (4).

El laboratorio desarrolla procedimientos analíticos para el control de los sistemas de tratamiento de residuales de la industria azucarera y los derivados, así como de otras industrias que soliciten sus servicios. Tiene implementado el Sistema de Gestión de la Calidad (SGC), según la norma NC ISO/IEC 17025: 2017 y está acreditado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados de la caracterización de los residuales líquidos

Al caracterizar las aguas residuales se obtiene información suficiente que permite manejar, eficientemente, las corrientes líquidas dentro de la industria, de manera que se logren disminuir los volúmenes de agua a tratar y sus cargas orgánicas para el tratamiento que van a recibir.

Las características físico-químicas del residual integral, a la salida de las lagunas de oxidación, desde el punto de vista de la contaminación ambiental fueron analizadas y sus valores promedio se muestran en la tabla en la que se puede observar que el residual saliente del sistema de tratamiento muestra una Demanda química de oxígeno (DQO) promedio de 6508 mg/L, que es muy elevada si se toma en cuenta que la DQO promedio de un ingenio, con una política adecuada de uso y reúso del agua, es de aproximadamente de 2000-5000 mg/L (5), por lo que estas muestras deben contener fundamentalmente materia orgánica, como: azúcares no recuperados del proceso de obtención de azúcar, cachaza, bagacillo y grasas y aceites como componentes contaminantes del medio ambiente.

Tabla 1. Caracterización del residual de salida de la laguna de la UEB Central Azucarero Boris Luis y los límites máximos y/o mínimos permisibles emitidos en la norma NC 27: 2012

Parámetros establecidos	UM	Residual salida de la laguna	Límites NC 27: 2012
			máximo/mínimo
DQO: demanda química de oxígeno	mg/L	6508.44	160
DBO ₅ : demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	3081.48	60
pH: NC ISO 10523:2016		6.1	6 – 9
T	°C		40
CE: conductividad eléctrica	μS/cm	2150	2000
NT: Nitrógeno total	mg/L	25.48	10
Fósforo	mg/L	5.68	5
SST: Sólidos sedimentables totales	mg/L	486.11	3.0
Grasas y aceites	mg/L	5.64	10

Además, se puede observar que las aguas residuales provenientes de la producción de azúcar no cumplen con las especificaciones para su vertimiento a cuerpos receptores y superan los límites permisibles, aún después de recibir un tratamiento en la laguna de oxidación; por tanto, constituyen aguas residuales que demandan algún tipo de tratamiento previo a su disposición.

Resultado del diagnóstico del sistema de tratamiento de residuales de la UEB

Contaminación de las aguas superficiales y subterráneas

No presentan desagregación de los efluentes líquidos de la UEB.

Los vertidos de grasas y aceites que se generan en el proceso industrial, pasan por las trampas de grasas, pero estas no están debidamente limpias como se evidencia en la caracterización las aguas residuales del ingenio.

También se generan vertidos accidentales de cachaza y bagazo en el proceso, que pasan al residual líquido y no son retenidos adecuadamente en las trampas de sólidos porque, a simple vista, se observa que el residual llega a las lagunas de oxidación con un contenido de estos materiales.

Insuficiente capacidad y eficiencia del sistema de tratamiento de residuales

La anterior problemática provoca que se encuentren especies acuáticas muertas en el seno el río San Nicolás, elemento más que suficiente para asumir la afectación del ecosistema acuático de este importante cuerpo de agua superficial (vegetación acuática y especies microscópicas), lo que genera pérdida de la diversidad en la flora y los ecosistemas circundantes.

Acciones propuestas para la reducción de la carga contaminante de los residuales líquidos en el proceso de fabricación de azúcar y sus residuales

- Disminución de la contaminación del agua residual con productos del proceso, para evitar salideros y derrame de productos durante el proceso productivo.
- Medidas para disminuir el volumen de agua residual y aumentar la cantidad de retorno no contaminado, para el abasto de las calderas y aumentar la capacidad de almacenamiento para este tipo de aguas.
- Diseñar un sistema de tratamiento de residuales para un vertimiento adecuado del efluente, que se origina en el proceso productivo y reconstruir el sistema conducción de residuales líquidos de la UEB.
- Crear la infraestructura necesaria para el uso de estas aguas en el riego y monitorear el efluente del sistema de tratamiento, previo a su empleo en el riego, con un tratamiento ade-

cuado a estos residuales antes del riego o deposición final. El reúso de los residuales líquidos de la unidad, como fertirriego de la caña de azúcar, en sustitución del agua como recurso natural y de fertilizantes químicos, constituye una acción de Producción Más Limpia.

Evaluación económico-ambiental

Con el objetivo de disminuir el consumo de agua, cerrar los ciclos de agua en el equipamiento industrial y reutilizar este recurso para también disminuir la descarga de residuales líquidos al medio ambiente, con lo que se lograría disminuir el caudal de residual y la carga de contaminantes, se propone una inversión en la que se estima que dejen de consumirse 69.73 m³/d de agua de acueducto, con un costo de 2.80 CUP /m³, que según (6) se reutiliza en otras etapas del proceso y en la limpieza de equipos. Además, se añaden los costos evitados por pago de impuestos al CITMA, con un valor de 2250 CUP a las personas jurídicas que vierten al medio ambiente, sin cumplir los requisitos de la NC: 27/2012.

El costo de la inversión se estima en \$ 205 600 cup, determinó un Valor actual neto (VAN) positivo, una TIR de 46 % y un periodo de recuperación de año y medio por la inversión realizada, lo cual se consideran parámetros económicos favorables y de alta rentabilidad.

CONCLUSIONES

Se identificaron las deficiencias del proceso de fabricación de azúcar en la UEB Boris Luis Santa Coloma, que contribuyen a que se generen altos volúmenes de agua residual que inciden en las importantes cargas contaminantes de los residuales líquidos de la empresa.

Se realiza una propuesta de acciones que considera la reducción de la contaminación y del volumen del residual para propiciar un vertimiento adecuado, para su utilización en el fertirriego y el mejoramiento del sistema de residuales.

Para disminuir el consumo de agua, reutilizar este recurso y disminuir la carga orgánica al medio ambiente se planteó una inversión, que estima parámetros económicos favorables y de alta rentabilidad y rápida recuperación con rentabilidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Gonzales, A. B. (2019). Propuesta de un procedimiento de gestión ambiental en la UEB Central Azucarero Jesús Rabí. 1CD Monografías 2019(c), Universidad de Matanzas ISBN: 978-959-16-4317-9.
2. Hernández, A. B., Moreno, J. C. y Sandoval, L. C. (2018). Tratamiento de aguas residuales industriales en México: Una aproximación a su situación actual y retos por atender. RINDERE-SU 3, 1-2 Enero-Diciembre.
3. Álvarez, Y. (2020). Auditoría Medio Ambiental al área de producción industrial de la UEB Central Azucarero Colombia. Tesis de Doctorado, Repositorio Institucional de la Universidad de las Tunas.
4. De la Hoz, Y., Izquierdo, Y., López, O. (2017). Caracterización y tratamiento de aguas residuales del central azucarero "Manuel Fajardo", para disminuir la contaminación en la fabricación de azúcar. Revista ICIDCA. 51(3), sept-dic. 72-74.
5. Díaz, M., Eng, F., Herrera, Y., Lorenzo, Y. (2016). El manejo de los residuales líquidos de la industria de azúcar y sus derivados en Cuba, en el contexto de las legislaciones ambientales actuales. Revista ICIDCA 50(3), sept-dic. 59-63.
6. Azcuba (2022). Dirección de Industrias. Ficha de costo de las materias primas y productos. Informe interno, 11-14.

Preprocesamiento de datos sobre gestión de mantenimiento en una industria azucarera

Mauricio Ribas-García*

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

Vía Blanca No. 804 y Carretera Central, San Miguel del Padrón. La Habana, Cuba.

* mauricio.ribas@icidca.azcuba.cu

RESUMEN

En los últimos años, el crecimiento masivo en la escala de los datos es un factor clave en el actual escenario de procesamiento de datos. La eficacia de los algoritmos para la extracción de conocimiento depende, en gran medida, de la calidad de los datos, esto puede ser garantizado con el empleo de su preprocesamiento. En este trabajo se exponen los resultados de la aplicación de un preprocesamiento a datos originales, almacenados en un libro Excel, que contiene información diaria de las salidas de materiales del almacén para tareas de mantenimiento, en un central azucarero. Se identificaron los errores en la estructura de almacenamiento de datos, desarrollada por el cliente, que dificultan la extracción del conocimiento. Se evidenciaron las ventajas que ofrece la herramienta *Power Query* de *Excel*, para realizar el preprocesamiento de datos y se construyó un reporte interactivo y automatizado que permite visualizar la cantidad de materiales de cada tipo extraído por cada área, durante el período analizado.

Palabras clave: calidad de datos, preprocesamiento de datos, transformación de datos, *Power Query*.

ABSTRACT

In recent years, the massive growth in data scale is becoming a key factor in the current data processing scenario. The effectiveness of the algorithms for the extraction of knowledge depend on data quality, this can be guaranteed with the use of data pre-processing. In this work, the results of the processing application to original data, stored in an Excel book, which contains daily information on the material output from the store for maintenance tasks in a sugar mill, are exposed. Errors in the data storage structure developed by the user that make it difficult to extract knowledge were identified. The advantages offered by the *Power Query* tool to perform data preprocessing were shown and an interactive and automated report was built that allows visualizing the amount of materials of each type extracted by maintenance area during the analyzed period.

Key words: data quality, data preprocessing, data transformation, *Power Query*.

INTRODUCCIÓN

El preprocesamiento de datos es una etapa fundamental en el proceso de extracción de conocimiento, cuyo objetivo principal consiste en obtener un conjunto de datos de calidad para la extracción del conocimiento (1).

La calidad del conocimiento extraído depende, en gran medida, de la calidad de los datos. Los datos, en muchas ocasiones, están afectados por factores negativos como: ruido, valores perdidos, inconsistencias, valores superfluos o un tamaño demasiado grande en cualquier dimensión (número de atributos e instancias). Está demostrado que una baja calidad de los datos conduce, en la mayoría de los casos, a una baja calidad del conocimiento extraído (1).

En este artículo se exponen los resultados del preprocesamiento realizado a los datos originales, almacenados en un libro Excel, que contiene información diaria, durante el mes de abril de 2022, de las salidas de materiales, para las tareas de mantenimiento en un central azucarero.

El objetivo de este trabajo es presentar la importancia del preprocesamiento de datos y el uso de la herramienta *Power Query* de Excel para obtener, de forma automática, una base de datos de calidad que permita extraer conocimiento de los datos.

Para ello, el trabajo se organiza como sigue. En la sección 2 se realiza una breve descripción de la herramienta *Power Query* de Excel. En la sección 3 se exponen las principales inconsistencias encontradas en el fichero original de datos Excel. En la sección 4 se describen los diferentes pasos del preprocesamiento de datos aplicado. En la sección 5 se realiza la extracción del conocimiento a partir de los datos preparados. Finalmente, en la sección 6, se presentan las conclusiones del trabajo.

DESARROLLO

Breve descripción de la herramienta *power query* de excel

Una de las principales características de *Excel* es su flexibilidad para generar un vínculo entre datos, tablas, gráficos y demás funcionalidades, que lo hacen la hoja de cálculo más importante en los últimos tiempos.

En muchas ocasiones, al analista de datos le solicitan crear un reporte de tabla de datos en Excel y se encuentra con una gran cantidad de anomalías e inconsistencias (respecto al formato tabular) como: filas en blanco, totales y subtotales, columnas combinadas, celdas vacías, estructura no adecuada de almacenamiento de datos. Esto implica horas frente a la PC, tratando con todo tipo de fórmulas, también las matriciales, técnicas de limpieza de datos, trucos de preparación de datos y hasta la programación de macros para, finalmente, obtener un conjunto de datos de calidad que permita generar el reporte solicitado con el uso de las tablas dinámicas.

Una vía más eficiente y rápida para realizar la preparación de datos consiste en el empleo del *Power Query* (Obtener y Transformar), que es una funcionalidad nativa y totalmente embebida de Excel a partir de 2016. Esta tecnología permite preparar, adecuar, limpiar, formatear, integrar, enriquecer, crear, refinar y, hasta resumir datos de forma veloz, intuitiva y coherente (2).

Power Query está estrechamente relacionado con un proceso ETL (*Extract-Transform-Load*). Permite extraer datos, a partir de múltiples fuentes y organizarlos en una lista. Posteriormente, se crean transformaciones de los datos (limpiarlos, formatearlos, integrarlos y enriquecerlos) para luego cargarlos desde *Power Query* a una hoja Excel listos para el análisis. En resumen, *Power Query* convierte datos en tablas que pueden ser analizadas y además permite realizar consultas sobre ellos (2).

Ventajas de *Power Query*

- Permite integrar tablas de una gama de orígenes extensa y constantemente creciente de modo intuitivo y eficaz.
- Brinda bondades para combinar, anexar e incrementar tablas con pasos sencillos y acertados.
- Proporciona una interfaz intuitiva para preparar tablas, sin necesidad de pasos complejo.
- Está incorporado en las tecnologías de *Microsoft* que manipulan datos (*Microsoft Excel*, *Power BI de Escritorio (Desktop)*, *Power BI en la nube (Power BI Services)*, *Microsoft SQL Server Data Tools*, *Microsoft SQL Server Analysis Services*, *AzureAnalysis Services*, *Common Data Services for Apps*, *Microsoft flow*).

- Permite crear modificaciones y automatizaciones en el proceso ETL, sin necesidad de conocimiento avanzado.
- *Power Query* está en constante actualización lo que expande el potencial de la herramienta.

La figura 1 muestra una imagen del panel de opciones de *Power Query* (*Obtener y transformar*) incluido dentro de la pestaña Datos en *Excel*. Estas opciones permiten obtener datos de diferentes fuentes. En este caso particular, los datos se obtienen desde un libro *Excel*. También es posible obtener datos desde una tabla, un rango de celdas, permite mostrar las consultas, actualizar y ver las conexiones a las fuentes de datos.

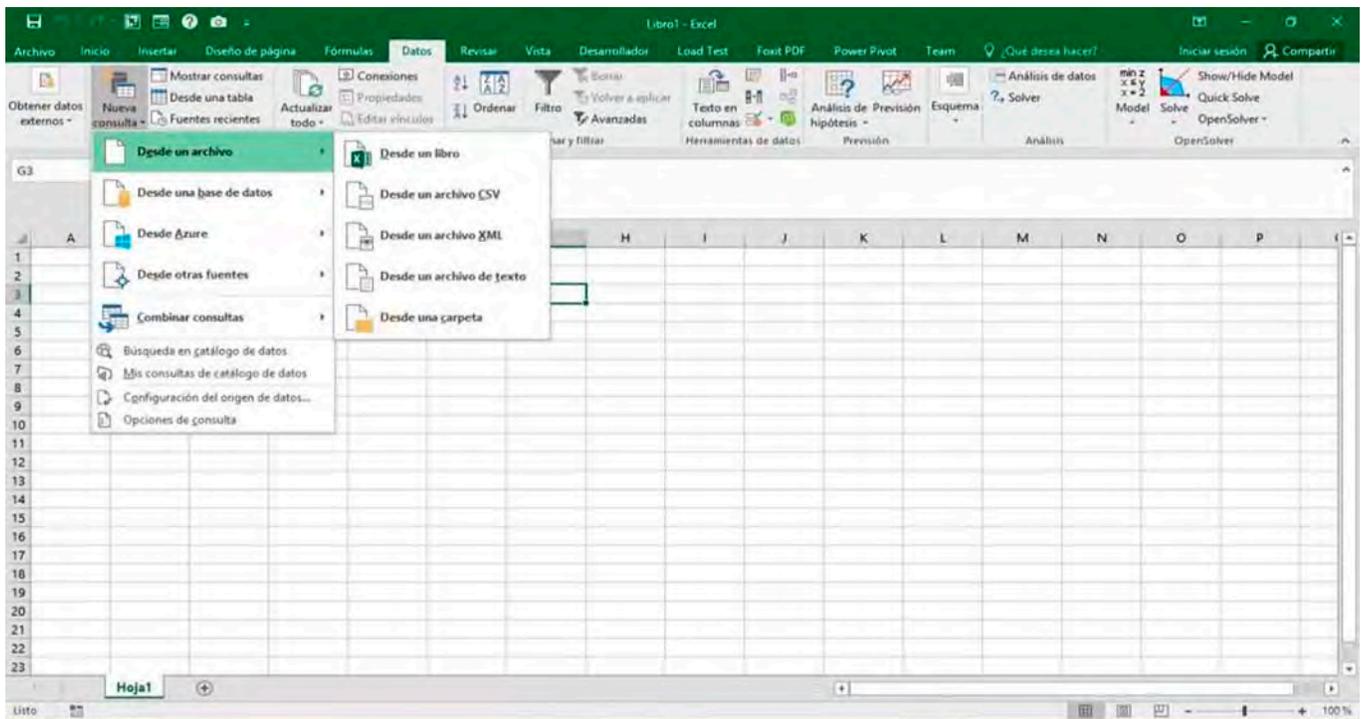


Figura 1. Imagen del panel de opciones de *Power Query* en *Excel*.

La figura 2 es una representación del editor de *Power Query* en *Excel*, con una consulta en blanco. En esta se aprecia un panel con 5 opciones.

- **Archivo.** Es donde se puede cerrar el editor de *Power Query* y cargar los resultados de la consulta, tanto en el destino predeterminado (nueva hoja *Excel*) o en el destino que se especifique. También tiene opciones para descartar los resultados de la consulta realizada y cerrar el editor de *Power Query*, así como opciones de configuración para las consultas y orígenes de datos.
- **Inicio.** Permite realizar operaciones con los datos, como separar los elementos de una columna en varias, agrupa las filas de la tabla según los valores de la columna seleccionada, cambia el tipo de dato de la columna seleccionada, promueve la primera fila de la tabla en los encabezados de las columnas, reemplaza valores existentes en las columna seleccionadas por un nuevo valor especificado, combina los resultados de diferentes consultas para obtener una nueva, anexa los resultados de una consulta debajo de los de otra.
- **Transformar.** Se pueden realizar operaciones, como eliminar duplicados, eliminar filas vacías, transponer, invertir el orden de las filas en la tabla, concatenar columnas seleccionadas en una columna, contar el número de filas de la tabla y otras.
- **Agregar columna.** Permite crear una nueva columna, basada en una fórmula personalizada, crear una nueva columna que agregue condicionalmente los valores en la columna seleccio-

nada actualmente, crea una nueva columna que sea el duplicado de una seleccionada, crea nueva columna basada en la concatenación de columnas seleccionadas, permite realizar operaciones estadísticas, matemáticas básicas, científicas, trigonométricas sobre las columnas.

- **Vista.** Se puede configurar la ventana de consulta que aparece a la izquierda en el editor de *Power Query* (figura 2). En esta ventana *Power Query* graba todos los pasos aplicados al origen de datos y se puede mover a través de ellos, para ir atrás o hacia adelante en el pre-procesamiento de los datos.

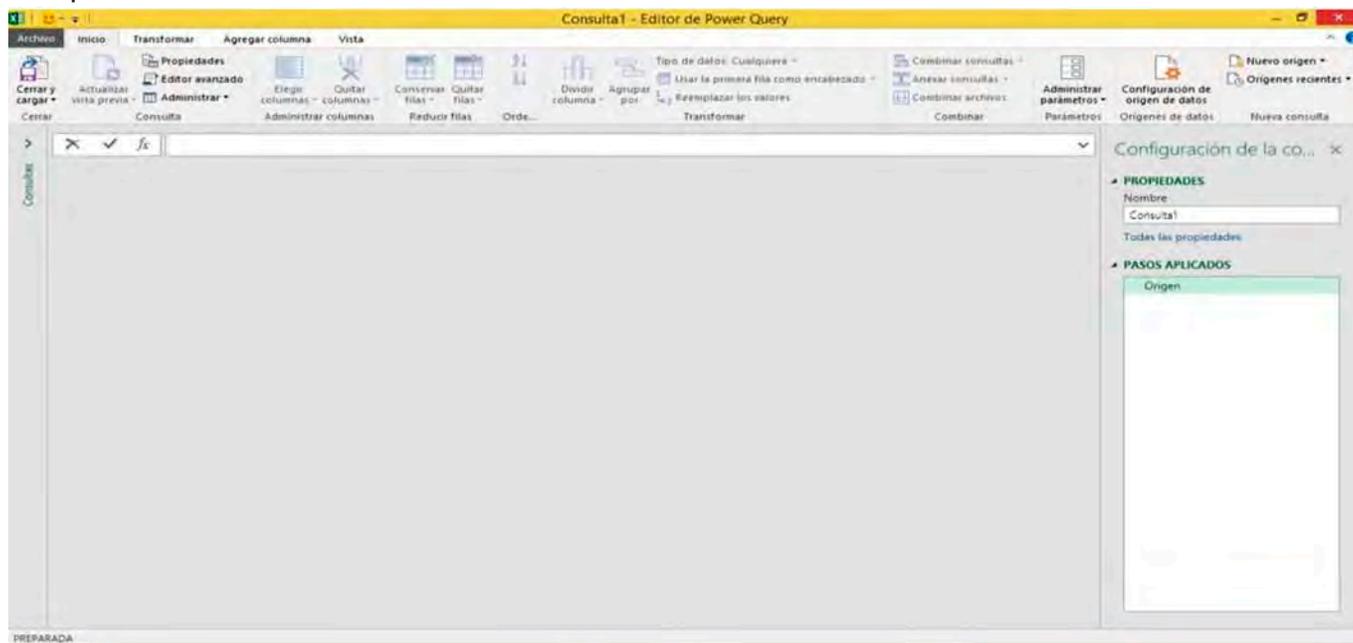


Figura 2. Imagen del editor de *Power Query* en *Excel*.

Exploración del libro de datos e identificación de inconsistencias

Se tiene información en un libro *Excel* sobre la cantidad de materiales que salieron del almacén, en un período de tiempo, para ser utilizados en cada área de mantenimiento industrial. Se desea construir un reporte que permita visualizar esta información.

El libro *Excel* entregado por el cliente contiene 12 hojas, una para cada área de mantenimiento del central azucarero: *Laboratorio*, *Centros de acopio*, *Taller de maquinado*, *Instrumentación*, *Planta eléctrica*, *Generación de vapor*, *Centrífugas*, *Miscelánea*, *Basculador*, *Molinos* y el área de *Inversión de almacén*.

En el rango de celdas seleccionado, de cada hoja, se ofrece la siguiente información:

- Área de mantenimiento industrial.
- Fecha de extracción del material del almacén.
- Número de norma o trabajo en el que se utilizó el material.
- Número de vale de extracción de materiales.
- Orden de trabajo asociada.
- Actividad a ejecutar.
- El encabezado de las otras columnas se corresponde con un tipo de material y la unidad de medida. En las celdas de estas columnas se escribe la cantidad de material utilizado de cada tipo.

La figura 3 muestra un ejemplo de los datos pertenecientes al área de *Centros de acopio*. Se pueden apreciar varias inconsistencias en la información que imposibilita tener datos de calidad para, posteriormente, ser analizados.

- La información está escrita en un rango de celdas y no en formato de tablas. En el formato de tablas cada columna representa una variable y, además, tiene la ventaja de que, si se adiciona una nueva fila o columna a la tabla, inmediatamente se actualiza el reporte solicitado de tabla dinámica.
- La información del *Área de mantenimiento industrial* está vacía y se utilizan varias columnas combinadas. Lo adecuado es emplear una sola columna para, posteriormente, hacer el reporte de tabla dinámica con la información solicitada.
- Los encabezados de las columnas están escritos en vertical, que dificulta su lectura y visualización.
- Los nombres de los materiales no están normalizados y validados. Un mismo material se puede encontrar escrito de diferentes formas.
- Los tipos de materiales empleados en cada área son diferentes por lo que el rango de celdas varía entre una hoja y otra. En total se emplearon 151 tipos distintos de materiales, por lo que se necesitaría, en cada hoja, una columna por cada material y no todos los materiales fueron utilizados en cada área de mantenimiento. Esto no permite consolidar la información de una manera eficiente.
- El formato de fecha seleccionado es *dd/mm/aaaa*; sin embargo, los valores de fecha aparecen escritos como *dd.mm.aa*.
- En muchas hojas aparecen materiales que no fueron utilizados.

Estas mismas inconsistencias se repiten para todas las hojas del libro, lo que hace necesario un preprocesamiento de los datos.

ÁREAS	No	MATERIALES	UM	UM
Laboratorio	1	Aceite 15w40	lt	lt
Centros de Acopio	2	Aceite cilindro	lt	m³
Taller Maquinado	3	Aceite circulacion 220	lt	U
Instrumentación	4	Aceite EP140	lt	kg
Planta Eléctrica	5	Aceite guijo	lt	par
Generación de Vapor	6	Aceite hidráulico 68	lt	m
Centrífugas	7	Aceite soluble	lt	
Casa Calderas	8	Aceite turbo 68	lt	
Miscelánea	9	Aceite viscopren	lt	
Basculador	10	Acetileno	m²	
Molienda	11	Acido	lt	
Inversión Almacén	12	Acido clorhidrico	lt	
	13	Arandela 24mm	U	
	14	Arandela de apresion 12mm	U	
	15	Arandela plana 12mm	U	
	16	Arandela plana 16mm	U	
	17	Arandela plana 24mm	U	
	18	Arandela presion 20mm	U	
	19	Arandela presion 10mm	U	

Figura 3. Hoja de cálculo correspondiente al área de *Centros de acopio*.

Pasos aplicados para el preprocesamiento de datos

Paso 1. Consistió en normalizar los nombres de las áreas de mantenimiento, los materiales y las unidades de medida. Para esto se creó una nueva hoja Excel llamada *00_Listas* que contiene 3 listas en formato de tablas (no rangos de celdas) con nombres *Lista Áreas*, *Lista Materiales* y *Lista UM*. Esto permite agregar nuevos elementos que se actualizan automáticamente en las validaciones de datos y reportes de tablas dinámicas. La figura 4 muestra una imagen de la hoja Excel.

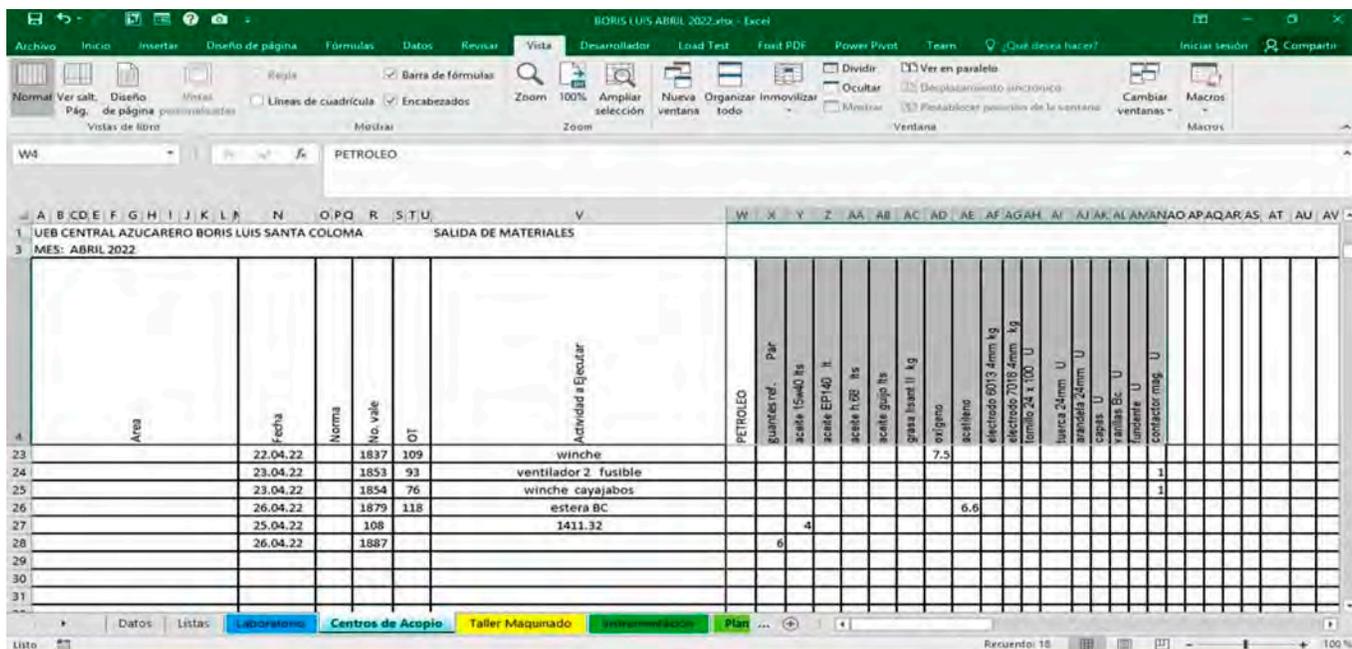


Figura 4. Hoja de cálculo con el listado de las áreas de mantenimiento, materiales y unidades de medida.

Paso 2. Se eliminaron las columnas combinadas, en cada una de las 12 hojas que tiene el libro y quedó una columna para cada encabezado. Para esto se seleccionaron las columnas combinadas y se pinchó en la opción *Combinar y central > Separar celdas*. Se eliminaron las columnas sobrantes y se le asignó un encabezado por cada columna. El texto de este se orientó en la dirección horizontal. Se completaron los datos de la columna Área con el nombre del área en cada fila (figura 5).

Paso 3. Se seleccionó el rango de celdas que contiene la información y se le aplicó formato de tabla, mediante la opción *Insertar > Tabla* del menú de opciones de Excel. La figura 5 muestra la imagen de la tabla creada con los datos del área de *Centros de acopio*. Este mismo procedimiento se repitió para cada una de las 12 hojas del libro Excel.

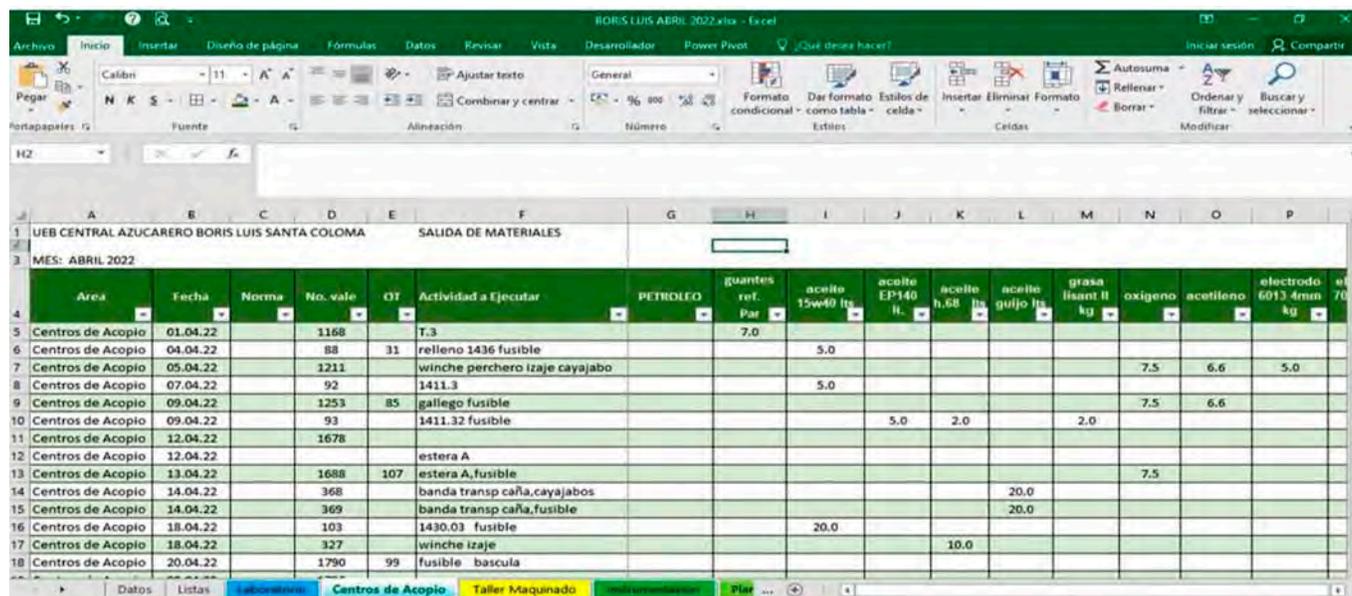


Figura 5. Información en formato de tabla del área *Centros de acopio*.

Paso 4. Se creó una consulta en *Power Query* por cada tabla seleccionada (Hacer click sobre la opción *Datos > Desde una tabla*). La figura 6 muestra el resultado de la consulta para la tabla

TCentros acopio. Dentro del editor de *Power Query* se realizaron transformaciones al formato de las columnas. Observe como los valores de la columna *Fecha* ya aparecen con el formato adecuado, de fecha *dd/mm/aaaa*. En esta tabla todavía no está resuelto el problema de dedicar una columna para cada tipo de material empleado y los tipos de materiales que se utilizan en las áreas pueden ser diferentes. Con esta estructura no se puede crear, de forma automatizada, una matriz de datos que permita consolidar, en una tabla dinámica, la información de todas las áreas.

Área	Fecha	Norma	No. vale	OT	Actividad a Ejecutar	aceite 15w	aceite EP1	aceite h.68 Its	aceite guiljo Its
Centros de Acopio	01/04/2022	null	1168	null	T.3	7	null	null	null
Centros de Acopio	04/04/2022	null	88	31	relleno 1436 fusible	null	5	null	null
Centros de Acopio	05/04/2022	null	1211	null	winche perchero izaje cayajabo	null	null	null	null
Centros de Acopio	07/04/2022	null	92	null	1411.3	5	null	null	null
Centros de Acopio	09/04/2022	null	1253	85	gallego fusible	null	null	null	null
Centros de Acopio	09/04/2022	null	93	null	1411.32 fusible	null	5	2	2
Centros de Acopio	12/04/2022	null	1678	null	null	null	null	null	null
Centros de Acopio	12/04/2022	null	null	null	estera A	null	null	null	null
Centros de Acopio	13/04/2022	null	1688	107	estera A, fusible	null	null	null	null
Centros de Acopio	14/04/2022	null	368	null	banda transp caña, cayajabos	null	null	null	null
Centros de Acopio	14/04/2022	null	369	null	banda transp caña, fusible	null	null	null	null
Centros de Acopio	18/04/2022	null	103	null	1430.03 fusible	null	20	null	null
Centros de Acopio	18/04/2022	null	327	null	winche izaje	null	null	null	10
Centros de Acopio	20/04/2022	null	1790	99	fusible bascula	null	null	null	null
Centros de Acopio	20/04/2022	null	1798	null	null	null	null	null	null
Centros de Acopio	19/04/2022	null	1769	93	ventilador 2	null	null	null	null
Centros de Acopio	21/04/2022	null	1807	102	tub lubricacion	null	null	null	null
Centros de Acopio	21/04/2022	null	1813	102	tub lubricacion	null	null	null	null
Centros de Acopio	22/04/2022	null	1837	109	winche	null	null	null	null
Centros de Acopio	23/04/2022	null	1853	93	ventilador 2 fusible	null	null	null	null
Centros de Acopio	23/04/2022	null	1854	76	winche cayajabos	null	null	null	null
Centros de Acopio	26/04/2022	null	1879	118	estera 6C	null	null	null	null
Centros de Acopio	25/04/2022	null	108	null	1411.32	null	4	null	null

Figura 6. Información en formato de tabla del área *Centros de acopio*.

Área	Fecha	Norma	No. VALE	OT	ACTIVIDAD A EJECUTAR	MATERIALES	VALOR
Centros de Acopio	01/04/2022	null	1168	null	T.3	guantes ref. Par	7
Centros de Acopio	04/04/2022	null	88	31	relleno 1436 fusible	aceite 15w40 Its	5
Centros de Acopio	05/04/2022	null	1211	null	winche perchero izaje cayajabo	oxigeno	7.5
Centros de Acopio	05/04/2022	null	1211	null	winche perchero izaje cayajabo	acetileno	6.6
Centros de Acopio	05/04/2022	null	1211	null	winche perchero izaje cayajabo	electrodo 6013 4mm kg	5
Centros de Acopio	07/04/2022	null	92	null	1411,3	aceite 15w40 Its	5
Centros de Acopio	09/04/2022	null	1253	85	gallego fusible	oxigeno	7.5
Centros de Acopio	09/04/2022	null	1253	85	gallego fusible	acetileno	6.6
Centros de Acopio	09/04/2022	null	93	null	1411.32 fusible	aceite EP140 lt.	5
Centros de Acopio	09/04/2022	null	93	null	1411.32 fusible	aceite h 68 Its	2
Centros de Acopio	09/04/2022	null	93	null	1411.32 fusible	grasa lissant II kg	2
Centros de Acopio	12/04/2022	null	null	null	estera A	electrodo 7018 4mm kg	5
Centros de Acopio	13/04/2022	null	1688	107	estera A, fusible	oxigeno	7.5
Centros de Acopio	14/04/2022	null	368	null	banda transp caña, cayajabos	aceite guiljo Its	20
Centros de Acopio	14/04/2022	null	369	null	banda transp caña, fusible	aceite guiljo Its	20
Centros de Acopio	18/04/2022	null	103	null	1430.03 fusible	aceite 15w40 Its	20
Centros de Acopio	18/04/2022	null	327	null	winche izaje	aceite h.68 Its	10
Centros de Acopio	20/04/2022	null	1790	99	fusible bascula	tornillo 24 x 100 U	4
Centros de Acopio	20/04/2022	null	1790	99	fusible bascula	tuerca 24mm U	8
Centros de Acopio	20/04/2022	null	1790	99	fusible bascula	arandela 24mm U	8
Centros de Acopio	20/04/2022	null	1798	null	null	capas U	4
Centros de Acopio	19/04/2022	null	1769	93	ventilador 2	oxigeno	7.5
Centros de Acopio	19/04/2022	null	1769	93	ventilador 2	acetileno	6.6
Centros de Acopio	19/04/2022	null	1769	93	ventilador 2	electrodo 7018 4mm kg	5

Figura 7. Información en formato de tabla del área *Centros de acopio*.

Paso 5. Para resolver el problema de estructura de los datos se realizó otra transformación de estos dentro del editor de *Power Query*, que permitió resumir la información de todas las columnas asociadas a los materiales en dos nuevas columnas con nombres *Materiales* y *Valor*. En la primera aparecen los nombres de los materiales y, en la segunda, la cantidad solicitada por cada vale.

Esta operación se realiza al seleccionar todas las columnas con nombres de materiales y pulsar la tecla derecha del mouse, entonces, aparece un menú emergente con la opción *Anular dinamización de las columnas seleccionadas únicamente*. La figura 7 presenta el resultado de esta transformación. Se observa que la tabla de datos del área de *Centros de acopio* tiene solamente 8 columnas.

A continuación, se procede a seleccionar la opción *Cerrar y cargar en...* y aparece el siguiente menú (figura 8) en el que el usuario indica dónde va cargar los datos. En este caso se debe indicar *Crear solo conexión*.

Este proceso se repite para todas las tablas y, finalmente, se obtienen 12 nuevas, con 8 columnas cada una.

Paso 6. Ya se está en condiciones de anexar las tablas, una debajo de la otra, para crear una matriz de datos de calidad, que permita extraer la información solicitada. Esta operación se realiza de manera automática con el editor de *Power Query*, mediante la opción *Inicio > Anexar consultas > Anexar consultas para crear una nueva*. Esto permite crear una nueva consulta que contiene las tablas anexadas, de cada área, una debajo de la otra y con el mismo encabezamiento. Finalmente se pincha la opción *Cerrar y cargar de Power Query*, para cargar la matriz de datos en una nueva hoja Excel que se nombró *Datos* (figura 9).

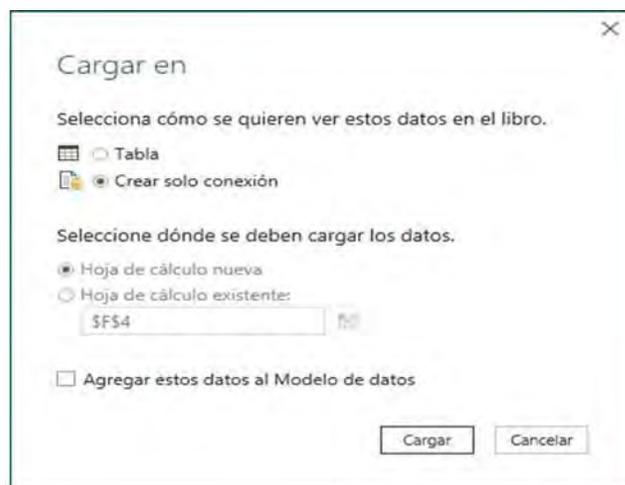


Figura 8. Diferentes opciones para cargar los datos ya transformados en *Power Query*.

UEB CENTRAL AZUCARERO BORIS LUIS SANTA COLOMA											SALIDA DE MATERIALES	
MES: ABRIL 2022												
Nº	AREA	FECHA	NORMA	No. VAL	ORDEN TRABAJO	ACTIVIDAD A EJECUTAR	MATERIAL	VALOR	UM	MATERIAL (UM)		
1	Laboratorio	14/04/2022		1714		sin actividad	Papel filtro	10.0	U	Papel filtro (U)		
2	Laboratorio	14/04/2022		1716		batas sanitarias	Batas sanitarias	20.0	U	Batas sanitarias (U)		
3	Laboratorio	16/04/2022		1740		sonda	Guantes latex	6.0	par	Guantes latex (par)		
4	Laboratorio	20/04/2022		1803	29	sin actividad	Varillas niquel	3.0	U	Varillas niquel (U)		
5	Laboratorio	22/04/2022		1828		sin actividad	Sacos	100.0	U	Sacos (U)		
6	Laboratorio	25/04/2022		402		prensa	Aceite hidráulico 68	4.0	lt	Aceite hidráulico 68 (lt)		
7	Centros de Acopio	01/04/2022		1168		T.3	Guante reforzado	7.0	par	Guante reforzado (par)		
8	Centros de Acopio	04/04/2022		88	31	relleno 1436 fusible	Aceite 15w40	5.0	lt	Aceite 15w40 (lt)		
9	Centros de Acopio	05/04/2022		1211		winche perchero izaje cayajabo	Oxigeno	7.5	m³	Oxigeno (m³)		
10	Centros de Acopio	05/04/2022		1211		winche perchero izaje cayajabo	Acetileno	6.6	m³	Acetileno (m³)		
11	Centros de Acopio	05/04/2022		1211		winche perchero izaje cayajabo	Electrodo 6013 4mm	5.0	kg	Electrodo 6013 4mm (kg)		
12	Centros de Acopio	07/04/2022		92		1411,3	Aceite 15w40	5.0	lt	Aceite 15w40 (lt)		
13	Centros de Acopio	09/04/2022		1253	85	gallego fusible	Oxigeno	7.5	m³	Oxigeno (m³)		
14	Centros de Acopio	09/04/2022		1253	85	gallego fusible	Acetileno	6.6	m³	Acetileno (m³)		
15	Centros de Acopio	09/04/2022		93		1411.32 fusible	Aceite EP140	5.0	lt	Aceite EP140 (lt)		
16	Centros de Acopio	09/04/2022		92		1411.32 fusible	Aceite hidraulico 68	2.0	lt	Aceite hidraulico 68 (lt)		

Figura 9. Matriz final de datos en Excel.

La matriz de datos de la figura 9 tiene 389 filas y 11 columnas. Si se realiza un cambio en los datos de algunas de las tablas del libro, estos se pueden actualizar en ella al pulsar la opción *Actualizar*, con la tecla derecha del mouse, sin necesidad de repetir otra vez todo el proceso.

Paso 7. Se aplicó una validación de datos en la columna *Material* para hacer coincidir el nombre de los materiales con los que aparecen en la tabla *Lista Materiales*.

Paso 8. Se empleó la fórmula *BUSCARV* para completar la columna *UM*, que contiene la unidad de medida del material (Ec. 1) y concatenó la columna *Material* con la columna *UM* para obtener la columna *MATERIAL (UM)* (Ec. 2).

=BUSCARV([@MATERIAL];ListaMateriales[[MATERIALES]:[UM]];2;FALSO) Ec. 1

=[@MATERIAL]&" "&"("&[@UM]&")" Ec. 2

Extracción del conocimiento, a partir de la matriz de datos generada

A partir de la matriz de datos anterior se pulsó la opción Insertar > Tabla dinámica para generar un reporte, como el que muestra la figura 10. En el mes de abril de 2022 se consumieron 70 L de Aceite circulación 220 y fue el área de Molienda la de mayor demanda de este tipo de aceite, con 67 L en el mes. Se consumieron en el mes 113 L de Aceite hidráulico 68, de ellos, 72 L fueron entregados al área de Centrífugas. Esta tabla tiene incluida a la derecha, una barra de desplazamiento vertical, para moverse entre los diferentes materiales. Se programó una macro para actualizar automáticamente la tabla dinámica, cada vez que ocurra un cambio en la matriz de datos.

No.	ÁREAS/MATERIAL	Laboratorio	Centros de Acopio	Taller Maquinado	Instrumentación	Planta Eléctrica	Generación de Vapor	Centrífugas	Casa Calderas	Miscelánea	Basculador	Molienda	Inversión Almacén	TOTAL
2	Aceite circulacion 220 (lt)	1.0	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	67.0	0.0	70.0
3	Aceite EP140 (lt)	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0
4	Aceite guijo (lt)	0.0	40.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	38.0	0.0	78.0
5	Aceite hidráulico 68 (lt)	4.0	12.0	0.0	0.0	0.0	0.0	72.0	0.0	0.0	25.0	0.0	0.0	113.0
6	Aceite soluble (lt)	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	0.0	0.0	15.0
7	Aceite turbo 68 (lt)	0.0	0.0	0.0	0.0	208.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	208.0
8	Aceite viscopren (lt)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2704.0	0.0	2704.0
9	Acetileno (m³)	0.0	26.4	0.0	6.6	0.0	0.0	39.6	66.9	0.0	6.6	0.0	6.6	152.7
10	Acido (lt)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1000.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1000.0
11	Acido clorhidrico (lt)	0.0	0.0	0.0	0.0	220.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	220.0
12	Arandela 24mm (U)	0.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0
13	Arandela de apresion 12mm (U)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	351.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	351.0
14	Arandela plana 12mm (U)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0	0.0	15.0
15	Arandela plana 16mm (U)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.0
16	Arandela plana 24mm (U)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0

Figura 10. Reporte de tabla dinámica con la cantidad de materiales solicitados por área.



Figura 11. Reporte interactivo con la cantidad de materiales solicitados por fecha.

Otro reporte útil consiste en conocer la cantidad de materiales solicitados para trabajos de mantenimiento, por fechas. En este caso, se generó la tabla dinámica de la figura 11, que tiene asociada una segmentación de datos para seleccionar el tipo de material y tener la información por fecha. Paralelamente se construyó un gráfico dinámico de barras, para visualizar de manera interactiva la información solicitada.

CONCLUSIONES

- Se demostró la necesidad de realizar un preprocesamiento a los datos obtenidos directamente del problema.
- El análisis exploratorio de los datos permitió identificar varias inconsistencias en el libro Excel las que dificultan obtener los reportes solicitados.
- Con las transformaciones realizadas en *Power Query* se logró obtener una matriz de datos de calidad, a partir de la cual se obtienen los reportes de resultados.
- Se construyó un reporte de tabla dinámica que brinda información sobre la cantidad de materiales de cada tipo, solicitado por área, en el período analizado, así como el total general.
- El reporte interactivo permite consolidar la información por fecha de solicitud de materiales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. García, S., Ramírez, S., Luengo, J., Herrera, F. *Big Data: Preprocesamiento y calidad de datos*. Big Data monografía., julio-octubre 2016, España, ATI, Novática No. 237, pp.17-23. ISSN: 2444-6629.
2. Caballero, M., Torres, F. EL ADN de Power Query. Power Bi Aplicado a Limpieza de Datos Inteligente. Primera Edición COLECCIÓN ADN, Colombia 2019. ISBN: 978-958-46-8524-7, pp. 638.

Caracterización actual del mercado internacional del azúcar

Teresa de la Caridad Ledoux-Ovies*

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

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

* teresa.ledoux@icidca.azcuba.cu

RESUMEN

En este artículo, se presentan las características básicas referentes a los ámbitos de la producción, consumo y comercio del azúcar en el mercado mundial, en la actualidad y se hace especial énfasis en la jerarquía internacional de los principales países productores, consumidores y comercializadores de azúcar. Igualmente, se estudia la determinación y la tendencia de los precios mundiales. Se analizan las causas y las consecuencias principales de que los precios sigan siendo bajos e inestables. También, se analiza el nivel de competitividad de las principales economías participantes en el mercado mundial del azúcar y un acercamiento a la política de Cuba, en cuanto al mejoramiento de sus centrales para recuperar su puesto en el mercado mundial. Se describen las proyecciones a mediano plazo para los mercados mundiales de azúcar, durante el periodo 2020-2029 y se examina la evolución de los precios, la producción, el consumo y el comercio de la remolacha azucarera, el azúcar, y los edulcorantes. Además, se realiza un bosquejo del análisis de los riesgos e incertidumbres importantes que afectarán a los mercados mundiales de azúcar, durante los próximos 10 años.

Palabras clave: azúcar de caña, remolacha azucarera, mercado mundial, edulcorantes.

ABSTRACT

In this article, the basic characteristics referring to the fields of sugar production, consumption and trade in the world market in the current period are presented, with special emphasis on the international hierarchy of the main producing, consuming and trading countries of sugar. Likewise, the determination and trend of world sugar prices is studied. The main causes and consequences of prices remaining low and unstable are analyzed. It also analyzes the level of competitiveness of the main participating economies in the world sugar market and an approach to Cuba's policy regarding the improvement of its plants to regain its position in the world market. Medium-term projections for world sugar markets for the period 2020-2029 are described, examining the evolution of prices, production, consumption and trade in sugar beets, sugar, and sweeteners. And an outline of the analysis of the important risks and uncertainties that will affect world sugar markets over the next 10 years.

Key words: cane sugar, sugar beet, world market, sweeteners.

INTRODUCCION

En la actualidad, la industria azucarera sigue su marcha imparable. Cada año se producen aproximadamente, 160 millones de toneladas de azúcar que mueven unos 70 000 millones de dólares en todo el mundo, según la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). Cada persona consume una media de 24 kg anuales y la FAO calcula que en la campaña 2021-2022 la producción será de 207 millones de toneladas, un 26 % más que diez años atrás.

El azúcar es lo que los anglosajones llaman una *commodity*; es decir, un producto tan básico que la industria apenas puede innovar para diferenciarse de sus competidores. El proceso de obtención no tiene demasiados secretos y las fábricas se parecen mucho unas a otras. Por tanto, la ventaja de las empresas no reside en las cualidades de su producto, sino en su precio.

En este contexto, la competencia por obtener un mejor precio debería ser feroz, sobre todo cuando se puede ver que la materia prima puede obtenerse casi en cualquier latitud. Y dado que la industria no es especialmente innovadora, la ruleta juega, en principio, a favor de los países menos desarrollados, que tienen una mano de obra más barata y, a menudo, las condiciones climáticas necesarias para que la caña crezca sin demasiada inversión.

En la actualidad, la industria azucarera se sigue comportando como si siguiera en la época de las colonias y los gobiernos tuvieran que proteger el dulce néctar. El azúcar es así una especie de sector estratégico, similar a la energía, que forma parte de las políticas nacionales de muchos países y, gran parte de la compraventa, se negocia a través de contratos entre gobiernos y no entre empresas, explican los economistas Herbert Gutiérrez y Adolfo Reyes (1).

La producción está, además, muy protegida, para asegurar que agricultores y fábricas locales puedan cubrir sus costos de producción y que el azúcar de afuera no suponga una amenaza. Los aranceles, los precios garantizados de producción y las subvenciones son constantes en las industrias azucareras de la mayor parte de los países, tanto desarrollados como en desarrollo.

Como consecuencia, en primer lugar, el azúcar se inmoviliza; es decir, es mayoritariamente producido y consumido de forma local. Por ello, a pesar de ser una *commodity*, sólo el 30 % del azúcar mundial se compra y vende en los mercados internacionales; el 70 % restante se consume en los mismos países que lo fabrican. En segundo lugar, los precios internacionales del azúcar se vuelven muy inestables, porque están continuamente subvencionados y el valor de venta no se corresponde con los costos de producción. Esto perjudica principalmente a los pequeños países en desarrollo, antiguas colonias azucareras, que no tienen suficiente mercado interno para dar salida a su azúcar, ni suficiente presupuesto para subvencionar su industria y dependen de los mercados internacionales para vender su producción. Por tanto, sólo una pequeña cantidad de azúcar se intercambia en el mercado internacional y, de ésta, una cantidad aún menor lo hace a través de transacciones libres (1).

Aunque todos los grandes productores protegen, de alguna manera, sus industrias, la Unión Europea ha sido la más criticada durante años por practicar *dumping*; o sea, por vender en el mercado internacional por debajo de los costos de producción. La campaña ha sido tal que, finalmente, se ha visto obligada a abrir su mercado y ha provocado toda una revolución en el sector.

Europa ha sido siempre un actor clave en el mercado internacional del azúcar, los países europeos son los que han controlado el sector. Hoy en día, las principales empresas azucareras siguen siendo europeas aunque, poco a poco, las compañías brasileñas y tailandesas, países mayores exportadores, han ganado terreno. Ahora es Brasil quien dirige los precios y la producción. Al mismo tiempo, las empresas europeas, que cada vez son menos europeas, se han hecho más fuertes, como consecuencia del proceso de concentración que ha habido dentro del Viejo Continente.

Otro país determinante es Estados Unidos, que con una gran avidez consumidora, ha determinado buena parte de la política azucarera de Latinoamérica, especialmente de Cuba, en tiempos pasados y, ahora de Brasil, debido al auge del etanol.

El mercado está cambiando con rapidez y no sólo por la aparición de estos subproductos o por los cambios legislativos en algunos países. Mientras la caña desplaza a la remolacha como fuente de azúcar refinado, otras plantas están tomando buena parte del mercado. El maíz se ha convertido, últimamente, en la fuente principal de azúcar para la industria alimentaria en Estados Unidos y, cada vez más, en otros países. El consumo de azúcar refinado de maíz disminuye en muchos países desarrollados, pero disminuye más, especialmente en Asia. Sin embargo, las nuevas enfer-

medades asociadas a su consumo de azúcar refinado de maíz ya han lanzado la voz de alarma en estos países y están determinando un futuro incierto para este alimento, pero el de la caña está casi asegurado.

Este artículo pretende hacer una *radiografía* del comercio internacional contemporáneo del azúcar; una exploración del marco institucional, en el que se desarrolla el comercio y la producción en los últimos años y en el que gana el país y/o los países, no por la productividad que puedan obtener sino por el proteccionismo y el subsidio que aplican en desmedro de los países en desarrollo, que no pueden competir en el mercado.

DESARROLLO

La producción y el consumo de azúcar

El azúcar de caña se cultiva en países caracterizados por un clima tropical; en cambio, el azúcar de remolacha se produce en economías con climas templados. El azúcar de caña se obtiene, básicamente, en América y Asia y el de remolacha se produce en Europa y, en menor cuantía, en Norteamérica. Por una parte, India y Brasil son los principales estados productores de azúcar de caña, las cantidades producidas representan, conjuntamente, alrededor de un 40 %. Por otra parte, la Unión Europea y Estados Unidos se identifican como las principales economías en la producción de azúcar de remolacha.

Del consumo mundial de azúcar, se puede decir que todos los países consumen dicho producto. Hay estados que satisfacen todo su consumo doméstico con azúcar producido fuera de sus fronteras nacionales. De hecho, alrededor de unos 50 países dependen del abastecimiento externo para satisfacer su consumo, los cuales se encuentran, principalmente, en los continentes africano y asiático. Por consiguiente, no son muchas las economías que consumen azúcar sin producirlo.

Casi todo el consumo se realiza en forma de azúcar blanco (tanto el derivado de la caña de azúcar como el de la remolacha), a pesar de que un poco más de la mitad de las importaciones mundiales de azúcar se efectúan en términos de azúcar en bruto. Solamente alrededor de un 10 % de la producción mundial de azúcar se consume en términos brutos, especialmente en países del sudeste asiático y de América Latina, debido a que las importaciones de azúcar en bruto se destinan a cubrir las necesidades de abastecimiento de las refinerías en muchos países. Así, una vez que las refinerías obtienen el azúcar blanco, entonces lo destinan al consumo final o intermedio; es decir, a los consumidores finales o a las empresas industriales utilizadoras de azúcar (principalmente, empresas agroalimentarias).

Los grandes productores mundiales de azúcar se identifican con las principales economías de consumo de dicho producto. Un poco más del 60 % del consumo global de azúcar se efectúa en los países en desarrollo.

Se destaca, por el lado de la oferta, el significativo aumento de la producción de azúcar de caña y, por el lado de la demanda, la expansión regular del consumo de azúcar blanco. India y Brasil son las primeras economías productoras de azúcar de caña, mientras que la Unión Europea y EE.UU. encabezan la lista de los países productores de azúcar de remolacha y, al mismo tiempo, son las principales economías consumidoras de azúcar.

La producción mundial de azúcar para la campaña 2021/2022 alcanzará un volumen de 185.5 millones de toneladas (Mt), con un incremento de 3.2 %, respecto a la campaña 2020/2021 (tabla 1), por la mayor producción de azúcar de India (2.8 % de incremento), alcanzando 34.7 Mt. Le siguen los países de la Unión Europea (7.4 %), con 15.8 Mt. Además, Tailandia producirá 10.6 Mt (40.1 %) al igual que China 10.6 Mt (1 %), debido a mejores condiciones climáticas (2).

Brasil continúa siendo el primer productor mundial de azúcar. Asimismo, proyecta una producción de 39.9 Mt, que significa una reducción de 5.1 %. La presencia de un clima más seco de lo normal en el sureste brasileño ocasiona una reducción del área cosechada, lo que conduce a un volumen de molienda menor, así como a la disminución del etanol. Brasil es el segundo mayor productor mundial de etanol, después de Estados Unidos y el primer exportador de etanol. También, lidera la producción global de etanol anhidro, a partir de caña de azúcar (2).

Tabla 1. Producción de azúcar para la campaña 2021-2022

MUNDO: PRODUCCIÓN DE AZÚCAR POR PRINCIPALES PAÍSES
(En Miles de toneladas)

N°	PAÍSES	2013/2014	2014/2015	2015/2016	2016/2017	2017/2018	2018/2019	2019/2020	2020/2021*	2021/2022*
	Producción Total	175 971	177 582	164 972	172 138	194 193	179 168	166 285	179 855	185 537
1	India	26 605	30 460	27 385	22 200	34 309	34 300	28 900	33 760	34 700
2	Brazil	37 800	35 950	34 650	39 150	38 870	29 500	30 300	42 050	39 920
3	Unión Europea	16 020	18 449	14 283	15 505	19 508	16 750	16 556	14 717	15 800
4	Tailandia	11 333	10 793	9 743	10 033	14 710	14 581	8 294	7 570	10 603
5	China	14 263	11 000	9 050	9 300	10 300	10 760	10 400	10 500	10 600
6	Estados Unidos	7 676	7 853	8 155	8 137	8 430	8 164	7 392	8 436	8 446
7	México	6 382	6 344	6 484	6 314	6 371	6 812	5 596	6 175	6 158
8	Rusia	4 400	4 350	5 200	6 200	6 560	6 080	7 800	5 750	6 100
9	Pakistan	5 630	5 164	5 265	6 825	7 225	5 270	5 400	6 010	6 840
10	Australia	4 380	4 700	4 900	5 100	4 480	4 725	4 285	4 335	4 400
	Otros	40 332	41 039	38 651	42 136	42 350	40 964	40 165	39 287	40 670

* Estimados

Fuente: USDA-al 25 de mayo 2021

Elaboración: MIDAGRI-DGPA-DEE.

El consumo mundial para la campaña 2021/2022 subirá 1.5 %, respecto a la campaña pasada (tabla 2) que se estima en 174.4 Mt y se verá impulsado por el mayor consumo de India (1.8 %), con 28.5 Mt, que lo convertirá en el primer consumidor mundial de azúcar. Le sigue la Unión Europea, que varía levemente su nivel de consumo a 16,7 Mt (0.9 % más). Continúa China el incremento de su consumo en 1.9 %, en un nivel de 15.8 Mt. En tanto, Estados Unidos mantendrá su nivel de consumo en 11 Mt (2).

Tabla 2. Consumo de azúcar para la campaña 2021-2022

MUNDO: CONSUMO DOMÉSTICO DE AZÚCAR PRINCIPALES PAÍSES
(Miles de toneladas)

N°	PAÍSES	2013/2014	2014/2015	2015/2016	2016/2017	2017/2018	2018/2019	2019/2020	2020/2021*	2021/2022*
	Total Mundo	165 749	168 037	168 976	168 990	173 185	172 646	170 837	171 802	174 408
1	India	26 023	26 500	26 800	25 500	26 500	27 500	27 000	28 000	28 500
2	Unión Europea	18 500	18 700	18 700	15 441	17 000	17 000	16 600	16 600	16 750
3	China	15 300	15 600	15 800	15 600	15 700	15 800	15 400	15 500	15 800
4	Estados Unidos	10 722	10 785	10 779	10 979	10 930	10 982	11 173	11 000	11 000
5	Brazil	11 260	11 400	10 500	10 550	10 600	10 600	10 650	10 150	10 200
6	Indonesia	5 450	5 400	5 600	6 186	6 375	7 055	7 356	7 445	7 500
7	Rusia	5 400	5 700	5 867	5 872	6 112	6 021	6 120	6 018	6 000
8	Pakistan	4 500	4 600	4 800	5 100	5 300	5 400	5 600	5 750	5 900
9	México	4 184	4 638	4 703	4 769	4 512	4 317	4 349	4 202	4 192
10	Egipto	2 870	2 900	2 930	2 950	3 050	3 100	3 250	3 340	3 430
	Otros	60 296	60 232	60 931	64 601	65 636	63 411	62 013	62 397	63 636

* Estimados

Fuente: USDA-al 25 de mayo 2021

Elaboración: MIDAGRI-DGPA-DEE.

Por segundo año consecutivo, el mercado global mostrará una mayor producción respecto al consumo global, lo cual se explica por una mayor producción de Tailandia e India, debido a las buenas condiciones climáticas, por mayores lluvias, que llevaron a una recuperación de los cultivos de caña y de mejores rendimientos. Según cifras del USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América), se proyecta un superávit de 11 Mt para la campaña 2021/2022, en comparación con el déficit de 4.5 Mt 2019/2020. Este superávit pasa a formar parte de las existencias. En la medida en que la inmunización contra la COVID-19 se haya extendido en las principales economías del mundo y, estas se recuperen, se espera que el consumo mundial de azúcar también aumente (2).

Los inventarios para la campaña 2021/2022 disminuirán en 4.1 %, a 44 Mt (tabla 3); es decir, 1868 toneladas menos que la campaña 2020/2021, debido a la caída de las existencias disponibles en Tailandia (-43.5 %), China (-28 %), Estados Unidos (-16.7 %), Filipinas (-7.1 %), entre otros. La contracción en la disponibilidad se debe a un mayor incremento relativo en su producción, respecto al crecimiento de su consumo en algunos países, que es el caso de India, Unión Europea, Tailandia, China y Rusia. En el caso de India, el incremento de las existencias se deriva de una menor demanda interna, debido a nuevos brotes de COVID-19.

La disminución de existencias, para la campaña 2021/2022, explica que aún se estará recurriendo a la reserva para cubrir la demanda. Actualmente, el nivel de existencias es el 25 % del consumo total mundial, por lo que la tendencia a la baja de las existencias, por el incremento de la demanda, generará cierto nivel de expectativa, para mantener el alza los precios del azúcar (2).

Tabla 3. Existencia final de azúcar para la campaña 2021-2022

MUNDO: EXISTENCIA FINAL DE AZÚCAR POR PRINCIPALES PAÍSES
(Miles de toneladas)

N°	PAÍSES	2013/2014	2014/2015	2015/2016	2016/2017	2017/2018	2018/2019	2019/2020	2020/2021*	2021/2022*
	Total Mundo	44 798	48 756	44 422	42 025	51 853	53 133	48 775	45 844	43 976
1	India	8 227	10 607	9 294	6 570	14 214	17 614	14 614	15 374	16 574
2	Tailandia	5 254	5 263	5 281	5 618	6 841	8 330	7 592	5 382	3 040
3	China	9 977	10 390	9 591	7 811	6 567	5 408	4 639	4 384	4 029
4	Indonesia	1 299	949	1 098	1 743	1 793	2 300	1 952	1 787	1 287
5	Pakistan	1 270	1 270	1 470	2 805	3 140	1 920	1 685	2 245	2 405
6	Estados Unidos	1 642	1 647	1 863	1 702	1 822	1 618	1 468	1 637	1 363
7	Unión Europea	3 066	4 151	1 241	1 776	1 547	1 260	1 993	1 110	1 160
8	México	881	860	1 099	1 062	1 479	1 239	910	965	965
9	Filipinas	1 032	997	1 168	1 167	1 067	1 234	1 289	1 274	1 184
10	Bangladesh	394	400	440	430	525	510	495	510	515
	Otros	11 667	12 180	11 837	11 318	12 840	11 681	12 133	11 132	11 450

* Estimado

Fuente: USDA-al 25 de mayo 2021

Elaboración: MIDAGRI-DGPA-DEE.

El comercio mundial de azúcar

Los intercambios comerciales de azúcar de caña y de remolacha en el mercado mundial se efectúan en función del grado de sacarosa contenido en dicho producto; es decir, según se trate de azúcar en bruto o blanco. Así, el comercio internacional de azúcar de caña se efectúa tanto en términos de azúcar bruto como blanco, aunque predomina la primera opción. En cambio, la gran mayoría de los intercambios comerciales de azúcar de remolacha se realizan en forma de azúcar blanco. Ello está vinculado con el hecho de que la producción de casi todo el azúcar en bruto deriva de la caña de azúcar, mientras que el azúcar blanco o refinado se obtiene, tanto de la caña de azúcar como de la remolacha azucarera (3).

El comercio mundial de azúcar de caña en bruto se realiza, principalmente, sobre la base de acuerdos a largo plazo ya que, de ese modo, se garantiza el abastecimiento de azúcar en las refinerías, mientras que el azúcar blanco, de acuerdo con las condiciones de libre mercado, atiende a que el producto se obtenga y se exporte, principalmente, a partir de refinar azúcar de caña en bruto, previamente importado en el país en cuestión, o bien que el azúcar blanco comercializado se reproduzca directamente en el interior del país.

Para la campaña 2021/2022 (tabla 4), el USDA estima un volumen de exportaciones de 66 millones de toneladas, que representa un incremento de 2.6 %, respecto a la campaña anterior, con lo cual superará, incluso, los niveles de la campaña 2017/2018. Este aumento moderado ocurre, principalmente, por la mayor oferta de Tailandia (43.1 % de aumento), al totalizar 10.4 Mt. También, se esperan incrementos relativos de los volúmenes de exportación en Australia, México y Guatemala, en la medida en que existen brechas de demanda que cubrir y por los buenos precios (4).

Sin embargo, este crecimiento se ha visto contenido con la contracción de las exportaciones de Brasil (-9.3 %) a 29.2 Mt, por efecto de las condiciones climáticas desfavorables en el sureste brasileño, luego de que la campaña pasada 2020/2021 había alcanzado 32.2 Mt (cifra récord de los últimos años), con un crecimiento de 66.8 %. En esta nueva campaña, Brasil participa con el 44 % del total de exportaciones a nivel global, habiendo llegado a exportar el 50 % del total mundial el año pasado. Pese a las menores exportaciones previstas para la próxima temporada, la devaluación significativa de la moneda brasileña, el real, frente al dólar estadounidense, deberá mantener el producto brasileño altamente competitivo (2).

Tabla 4. Exportaciones para la campaña 2021-2022

MUNDO: EXPORTACIONES DE AZÚCAR POR PRINCIPALES PAÍSES
(Miles de toneladas)

N°	PAÍSES	2013/2014	2014/2015	2015/2016	2016/2017	2017/2018	2018/2019	2019/2020	2020/2021*	2021/2022*
	Total Mundo	57 951	55 033	54 187	60 047	65 795	57 855	53 077	64 284	65 959
1	Brazil	26 200	23 950	24 350	28 500	28 200	19 600	19 280	32 150	29 170
2	Tailandia	7 200	8 252	7 055	7 016	10 907	10 612	6 672	7 300	10 445
3	India	2 806	2 580	3 800	2 125	2 236	4 700	5 800	6 000	6 000
4	Australia	3 242	3 561	3 700	4 000	3 600	3 735	3 600	3 335	3 535
5	Unión Europea	1 552	1 582	1 548	1 987	4 349	2 411	1 459	1 000	1 000
6	México	2 661	1 545	1 280	1 287	1 146	2 337	1 285	1 589	1 615
7	Guatemala	2 100	2 340	2 029	1 978	1 881	2 125	1 858	1 729	1 823
8	Pakistan	729	580	275	400	1 600	1 100	75	50	800
9	Sudáfrica	868	772	305	218	768	1 041	1 451	985	995
10	Colombia	900	835	584	695	732	801	780	700	770
	Otros	9 593	8 902	9 160	11 707	10 272	9 323	10 648	9 283	9 686

* Estimados

Fuente: USDA-al 25 de mayo 2021

Elaboración: MIDAGRI-DGPA-DEE.

En lo que respecta a los estados importadores de azúcar, se prevé que las importaciones globales de los países se reduzcan en 0.7 %, en la campaña 2021/2022 (tabla 5), de modo que se alcanzará un volumen de 53.6 Mt. Esto se explica por una contracción en la demanda de Indonesia (-7.7 %) y Estados Unidos (-15.8 %), que neutraliza el crecimiento de las importaciones totales. Por otro lado, presentarán mayores adquisiciones países como China (2 %) al totalizar 5 Mt, Bangladesh (2.4 %), Malasia (5.5 %) y Corea del Sur (3.8 %); mientras que la Unión Europea mantendrá el mismo nivel de adquisiciones de 2 Mt de la campaña pasada, así como Argelia con un nivel de 2.4 Mt (2).

Tabla 5. Importaciones de azúcar para la campaña 2021-2022**MUNDO: IMPORTACIONES DE AZÚCAR POR PRINCIPALES PAÍSES**
(Miles de toneladas)

N°	PAÍSES	2013/2014	2014/2015	2015/2016	2016/2017	2017/2018	2018/2019	2019/2020	2020/2021*	2021/2022*
	Total Mundo	51 450	50 248	54 629	55 278	55 741	53 414	53 952	53 986	53 632
1	Indonesia	3 570	2 950	3 724	4 781	4 325	5 362	4 758	5 200	4 800
2	China	4 275	5 058	6 116	4 600	4 350	4 086	4 408	4 900	5 000
3	Estados Unidos	3 395	3 223	3 031	2 943	2 972	2 785	3 842	2 860	2 407
4	Bangladesh	2 085	1 982	2 283	2 097	2 654	2 429	2 397	2 450	2 510
5	Unión Europea	3 262	2 918	3 055	2 908	1 612	2 374	2 236	2 000	2 000
6	Argelia	1 854	1 844	1 921	2 135	2 261	2 328	2 469	2 405	2 405
7	Malasia	1 897	2 063	2 009	1 893	2 002	2 139	1 966	2 125	2 175
8	Korea del Sur	1 909	1 882	1 900	1 757	1 864	1 999	1 926	1 900	1 955
9	Nigeria	1 470	1 465	1 470	1 820	1 870	1 870	1 890	1 880	1 930
10	Emiratos Árabes Unidos	2 108	2 366	1 814	1 880	2 797	1 571	748	1 370	1 420
	Otros	25 451	24 308	26 847	28 143	28 545	26 202	27 028	26 559	26 750

* Estimado

Fuente: USDA-al 25 de mayo 2021

Elaboración: MIDAGRI-DGPA-DEE.

Los precios mundiales del azúcar

Por regla general, en el momento de fijar el precio de mercado del azúcar, el comprador y el vendedor utilizan, como referencia, el precio del azúcar vigente en cualquier bolsa internacional y se formalizan los contratos. Normalmente, se suele tomar como referencia el precio del futuro más cercano (con relación al momento presente) estipulado en el contrato N° 5 de la Bolsa de Londres, en el caso del azúcar refinado o, en el contrato N° 11 de la Bolsa de Nueva York, para el azúcar en bruto (3).

La gran mayoría de las transacciones que se llevan a cabo en el mercado internacional del azúcar, se efectúan a través de contratos basados en los precios que se fijan en el mercado de productos derivados (opciones y futuros, entre otros). Así que el mercado de los derivados financieros y el mercado físico del azúcar están estrechamente vinculados, porque quienes participan en la compraventa de azúcar suelen utilizar instrumentos financieros para cubrir sus posiciones y disminuir su riesgo.

La tendencia de los precios del azúcar en bruto y blanco, en el mercado mundial, es similar a lo largo de las últimas décadas, la razón fundamental que explica el nivel tan bajo de los precios mundiales del azúcar ha sido el constante crecimiento de las existencias de este producto (en bruto y blanco) en el tiempo (5), los factores básicos que influyen en ello son las variaciones en la oferta, debido a fenómenos meteorológicos y a las plagas; la baja elasticidad de la demanda respecto al precio; y al hecho de que sólo una modesta parte de la producción global se comercializa en el mercado libre mundial.

Los precios internacionales, contrato N° 5 Bolsa de Londres (azúcar refinada-blanca) y el contrato N° 11 Bolsa de New York (azúcar cruda-rubia), continuaron en ascenso desde el mes de abril de 2020 hasta el mes de febrero de 2021, en la que se registró un precio promedio de US\$ 470 y US\$ 375 por tonelada, respectivamente. En los meses de marzo y abril, descendieron ligeramente; no obstante, en el mes de mayo del presente año, su cotización volvió a recuperarse a US\$ 458 (contrato N° 5) y US\$ 379 (contrato N° 11) por tonelada y se incrementó en 28 y 62 %, respectivamente, por encima del nivel registrado hace un año.

Según la FAO, el repunte de las cotizaciones internacionales del azúcar se debe, principalmente, a las cuantiosas adquisiciones de azúcar por parte de China, principal y mayor importador de azúcar del mundo, así como la mayor demanda de azúcar refinada de la industria de alimentos y bebidas de Indonesia, en un contexto de creciente preocupación por la disminución de la oferta mundial en

2020/2021, a raíz del lento avance de la cosecha y la probable disminución de la producción en Brasil, a causa de las condiciones climáticas secas y de lluvias irregulares, así como el daño causado por las heladas en Francia. El fortalecimiento del real brasileño frente al dólar de los Estados Unidos, que suele afectar los envíos de Brasil, el mayor exportador de azúcar del mundo, contribuyó a reforzar los precios. Sin embargo, la presión del alza sobre los precios se vio parcialmente limitada por las perspectivas de mayores exportaciones procedentes de India y por el ligero descenso de los precios del petróleo (2).

EVOLUCIÓN DE LOS PRECIOS DEL AZÚCAR CONTRATO N°5 (REFINADO-LONDRES) Y N°11 (CRUDO-NUOVA YORK) 2016-2021



Fuente: Indexmundi/Odepa

Elaboración: MIDAGRI-DGPA-DEE

Figura 1. Evolución de los precios del azúcar contrato N°.5 (refinado-Londres) y N° 11 (crudo –Nueva york) 2016-2021.

La figura 2 muestra el comportamiento diario de los precios internacionales de los contratos N° 5 y N° 11, este comportamiento ha tenido una tendencia al alza, en los últimos 12 meses y los precios, el 28 de mayo de 2021, fueron de US\$ 460 y US\$ 383 por tonelada, tanto para el azúcar refinado como para el crudo rubio, respectivamente.

EVOLUCIÓN DIARIA DE LOS PRECIOS DEL AZÚCAR CONTRATO N°5 Y N°11 (Ene 2019 - Mar 2021)

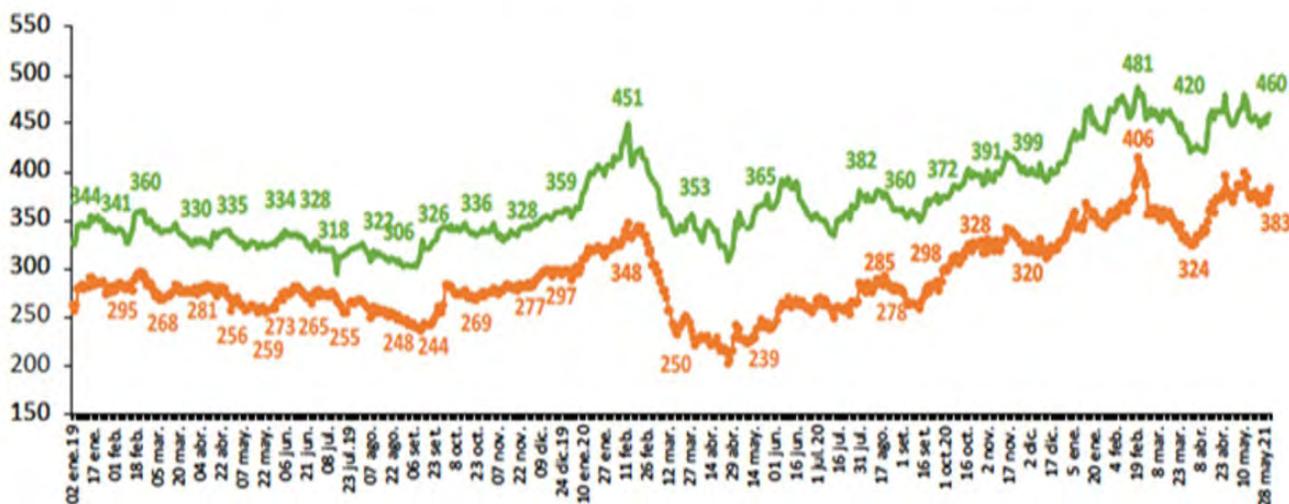


Figura 2. Evolución diaria de los precios del azúcar contrato N° 5 y N° 11 (enero 2019-marzo 2021).

Las perspectivas de los precios futuros señalan una baja en las cotizaciones para los próximos meses. Esto se debe, en parte, a un mayor incremento en la producción respecto al nivel de consumo previsto, a la disminución de los suministros, así como a una probable baja de las compras mundiales, contrato N.º 11 (tabla 6).

Tabla 6. Comportamiento de los precios 2021

AZÚCAR 11 EN NEW YORK (CSCE) REPORTE DIARIO DE PRECIOS A FUTURO
Precios correspondientes al 28 de Abril de 2021 (04:54:36 p. m.)
US\$/tm

Contrato	Último	Valor	Variación	Máximo	Mínimo	Cierre anterior	Volumen anterior
May-21	381,4	↓	-14,11	393,75	377,87	395,51	15 762
Jul-21	377,87	↓	-13,45	388,01	374,79	391,32	66 514
Oct-21	376,11	↓	-12,57	385,37	373,02	388,67	30 733
Mar-22	376,33	↓	-10,36	384,71	373,02	386,69	14 952
May-22	354,5	↓	-9,26	362,66	351,20	363,76	4 579
Jul-22	341,5	↓	-7,72	348,33	337,53	349,21	2 353
Oct-22	335,32	↓	-5,73	339,95	330,25	341,06	1 426
Mar-23	335,32	↓	-4,63	339,07	330,25	339,95	532
May-23	316,8	↓	-2,87	319,67	312,17	319,67	166
Jul-23	304,24	↓	-1,76	306,00	300,49	306,00	59

FUENTE: ASERCA con datos de Reuters.

Expertos en el tema (Group Sopex John Stansfield), señalan que: “Si la producción de azúcar del centro-sur de Brasil cae por debajo de los 31 millones de toneladas, el mercado de Nueva York (sin refinar) bien podría tener que ir hacia los 22 centavos por libra”.

A su vez, la producción de azúcar de India aumentará en el periodo 2021-2022 hasta los 31.5 Tm, frente a los 31 millones de 2020-2021, según las previsiones.

Comercialización de edulcorantes

Un cambio de tendencia en la evolución comercial se aprecia en los países desarrollados, pues parte de la ingesta es sustituida por edulcorantes naturales o sintéticos; es decir, que la tendencia se orienta en modificar la matriz de consumo, para privilegiar este tipo de dieta (4).

Los edulcorantes han pasado a ser un tema de gran importancia en los últimos años, debido a que los consumidores son más exigentes en el momento de consumirlos porque estos se relacionan con la salud y las enfermedades metabólicas, como diabetes e hipertensión, que afectan gravemente la salud humana.



Figura 3. Diversidad de productos con edulcorantes.

Las expectativas del mercado consideran que la demanda de productos dietéticos y bajos en calorías aumentará durante los próximos años, debido a la entrada en el mercado de edulcorantes con mejor sabor y más adaptados a su uso en los alimentos. Las previsiones indican que los edulcorantes intensivos serán los principales sustitutos del azúcar (6). Según el USDA, el consumo de edulcorantes se incrementará y ese volumen es el que desplazará la ingesta de azúcar refinado, que hoy se ubica entre 3 y 4 millones de toneladas (4).

Características generales del mercado mundial del azúcar

Con el fin de proteger sus mercados internos, muchos países siguen aplicando ciertos instrumentos de política comercial:

- aranceles altos fuera de cuota en China;
- el mecanismo sudafricano de precio de referencia basado en el dólar, que garantiza un precio de importación mínimo;
- ajustes en las TRQ (cuota arancelaria, por sus siglas en inglés) de la OMC (Organización mundial del comercio) y el Límite de Exportación para México (Estados Unidos);
- subsidios de transporte para estimular las exportaciones de azúcar y proteger los precios internos del azúcar (Pakistán e India);
- aranceles altos de importación (Unión Europea, Federación de Rusia y Estados Unidos);
- los acuerdos comerciales regionales (Tratado de Libre Comercio de América del Norte) [TL-CAN] y los Acuerdos de Asociación Económica [EPA, por sus siglas en inglés], la Iniciativa Todo Menos Armas [EBA por sus siglas en inglés] de Europa.

En consecuencia, el mercado internacional del azúcar está claramente distorsionado por la aplicación de políticas proteccionistas, en una gran mayoría de países productores y exportadores de azúcar, especialmente de azúcar de remolacha, que se orientan a garantizar una producción doméstica de azúcar. La realidad de dichas medidas proteccionistas viene justificada por la gran discrepancia entre los costos productivos del azúcar de remolacha y los del azúcar de caña. Asimismo, la caída y la volatilidad de los precios del azúcar en el mercado internacional son un factor influyente en el diseño y la aplicación de la política azucarera en cada país.

En vista de la creciente evidencia del efecto perjudicial del consumo excesivo de azúcar en la salud humana, las perspectivas de demanda también son inciertas. Algunos gobiernos ya fijaron impuestos a los edulcorantes calóricos, para fomentar un consumo menor y esto podría reforzarse durante el próximo decenio, aunque las medidas proactivas por parte de la industria de la alimentación, como la reformulación del producto, el uso de edulcorantes alternativos y la disminución del tamaño de las porciones, podrían atenuar los efectos de tales políticas en las proyecciones.

Perspectivas del comercio del azúcar hasta el 2029

Se prevé que la producción mundial de azúcar se recupere de la caída actual y se eleve al 15 %, de 176 Mt en el periodo base a 203 Mt hacia 2029; 96 % del aumento previsto provendrá de los países en desarrollo (3).

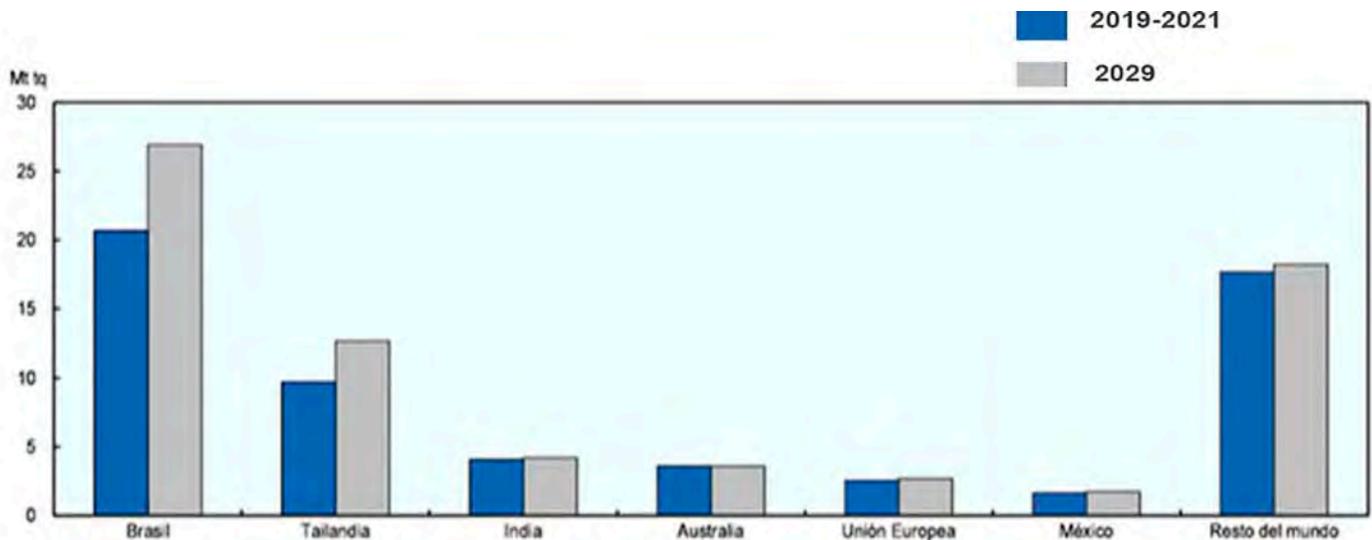
Durante el próximo decenio, las exportaciones de azúcar seguirán muy concentradas y Brasil consolidará su posición como el principal exportador (de 35 % del comercio mundial en el periodo base a 38 % para 2029). El debilitamiento de su moneda frente al dólar estadounidense, durante el periodo de proyección, atraerá inversiones y mejorará la competitividad de su industria. Sin embargo, el mercado del azúcar de Brasil competirá con una fuerte producción de etanol. Se prevé que sus exportaciones de azúcar aumentarán 6.3 Tm, en comparación con el periodo base.

Tailandia, segundo mayor exportador de azúcar del mundo, se anticipa que se recuperará de manera progresiva de la caída actual de su producción, para obtener participación en el mercado

internacional, hacia el final del periodo de proyección, al representar 18 % de las exportaciones mundiales de azúcar para 2029 (frente al 16 % durante el periodo base) y llegar a 12.7 Mt de exportaciones de azúcar en 2029 (3).

India contará con reservas suficientes y con apoyo de las políticas públicas para mantener el nivel de sus exportaciones en cerca de 4 Mt al año, durante todo el próximo decenio.

En Australia, la caña de azúcar se verá limitada por la disponibilidad de tierras de regadío; debido a esta restricción, se prevé que los niveles de producción se mantengan relativamente bajos en la temporada actual que, de todas maneras, están por encima de la demanda interna. Por consiguiente, el país seguirá exportando cerca del 80 % de su producción (3).



Nota: Los datos se expresan sobre la base de peso en bruto (tq).

Fuente: OCDE/FAO (2020), "OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas", *Estadísticas de la OCDE sobre agricultura (base de datos)*, <http://dx.doi.org/10.1787/agr-outl-data-en>.

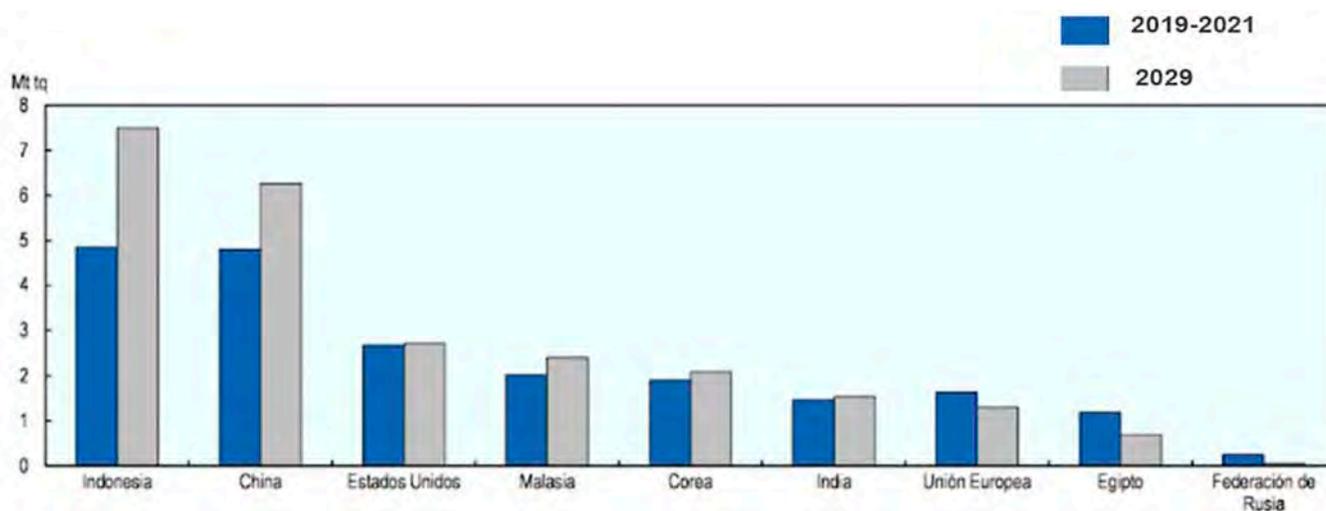
Figura 4. Exportaciones de azúcar de los principales países y regiones.

Durante los próximos 10 años, aunque no se espera que la producción aumente, la disminución de la demanda ayudará a liberar el azúcar blanco de alta calidad para exportaciones que puedan venderse a un precio más alto. Dichas exportaciones se destinarán, sobre todo, a los países deficitarios de azúcar en las regiones de Oriente Medio, África del Norte y Lejano Oriente (MENA, por sus siglas en inglés), que se enfrentarán a la competencia del suministro de las refinerías tradicionales de caña de azúcar.

En Asia y África se registrará el crecimiento más fuerte de la demanda de azúcar que, a su vez, determinará la clasificación de los principales importadores. Durante el periodo base, Indonesia y China fueron los principales importadores (con 4.8 Mt cada uno), seguidos por Estados Unidos (2.7 Mt), Malasia (2.0 Mt), Corea (1.9 Mt), la Unión Europea (1.6 Mt) e India (1.5 Mt).

Se prevé que durante el próximo decenio, Indonesia, con un fuerte crecimiento en el consumo, consolidará su posición como el principal importador de azúcar (7.5 Tm), seguido por China (6.3 Tm), Estados Unidos (2.7 Mt), Malasia (2.4 Mt), Corea (2.1 Mt) e India (1.5 Mt). Debido a la derogación de las cuotas de azúcar, la Unión Europea es ahora un destino de exportación menos atractivo para los países que cuentan con acuerdos comerciales preferenciales; se prevé que las importaciones de azúcar de la Unión Europea disminuirán aún más a 1.3 Mt, para 2029.

El comercio de HFCS (edulcorantes de maíz) de la UE no sufrirá cambios significativos, pues se espera que la producción satisfaga, sobre todo, la demanda interna.



Nota: Los datos se expresan sobre la base de peso en bruto (tq).

Fuente: OCDE/FAO (2020), "OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas", *Estadísticas de la OCDE sobre agricultura* (base de datos), <http://dx.doi.org/10.1787/agr-outl-data-en>.

Figura 5. Importaciones de azúcar en los principales países y regiones.

En Estados Unidos, que tradicionalmente ha sido un país deficitario en azúcar, se mantendrán las políticas públicas para fomentar la producción nacional y restringir las importaciones. Las TRQ establecidas por la OMC o en los Tratados de Libre Comercio (TLC), así como la restricción a las importaciones provenientes de México, debidas al Límite de Exportación estipulado por el Departamento de Comercio de Estados Unidos, regirán los flujos de importación. Debido a los precios, relativamente altos del azúcar, prevalecientes en Estados Unidos, México exportará la mayor parte de su azúcar a este país para cubrir sus requerimientos. A su vez, se espera que México recurra a importaciones de HFCS de Estados Unidos (+2 % o 250 kt, en 2029) para cubrir su demanda interna de edulcorantes.

Se espera que disminuyan las importaciones en Egipto y en la Federación de Rusia. En Egipto, grandes proyectos de inversión impulsan la producción y se anticipa la reducción de las importaciones. En la Federación de Rusia, la política de autosuficiencia ha resultado exitosa y prácticamente no habría importaciones durante los próximos 10 años.

Las proyecciones presentadas en estas perspectivas presuponen un entorno macroeconómico estable y condiciones climáticas normales; igualmente, hacen supuestos concretos respecto de diferentes variables, como los precios del petróleo crudo, las políticas públicas relacionadas (es decir, las normativas obligatorias para el etanol) o las tendencias de consumo y producción. Una perturbación en cualquiera de estas variables podría provocar desviaciones importantes de las proyecciones, en especial, porque la producción y el comercio se concentran en un pequeño número de países.

Agroindustria azucarera cubana. Sus perspectivas para el periodo 2021-2022

Con respecto a la agroindustria cubana de la caña de azúcar, a comienzos de la segunda década del siglo XXI, la situación de sus ramas, agrícola e industrial, es de franco deterioro, es por ello que las potencialidades de inserción en el mercado mundial del sector, ha sido un tema muy discutido, tanto dentro como fuera del país y en eventos de diversas índoles.

La agroindustria cubana de la caña de azúcar, en el actual contexto del mercado mundial, es rentable; no obstante, se impone acometer una estrategia integral de modernización y diversificación del sector que permita explotar todas sus potencialidades; la inserción plena de la economía cubana en la economía mundial es una condición para alcanzar una dinámica de crecimiento sostenido

de su producto global, a tal objetivo deben contribuir, todos los sectores que potencialmente sean competitivos.

La zafra azucarera 2021-2022 se enfrentará en Cuba con una nueva estructura, que prevé la creación de 57 empresas en todo el país, de las cuales ocho se conforman en la provincia de Camagüey, urgida de mejorar los resultados productivos de ese sector vital para la economía nacional (7).

Como parte del proceso de reestructuración del Grupo Empresarial Azucarero (AZCUBA), surgen aquí empresas agroindustriales azucareras en los centrales Siboney, Panamá, Batalla de Las Guásimas, Argentina, Ignacio Agramonte, Brasil y Carlos Manuel de Céspedes. A estas se suma la empresa cañera Cándido González, en el municipio de Santa Cruz del Sur, que han nacido, en un momento complejo, con un grupo de facultades y oportunidades que, de aprovecharse como es debido, contribuirán a la reanimación de la producción cañero-azucarera (7).

El hecho de retomar la unión, en una misma organización empresarial, de las entidades cañeras con la industria, impactará positivamente en las plantaciones de la gramínea, la fabricación del crudo, sus derivados y en las producciones agropecuarias. Este esfuerzo debe reflejarse en una mejor organización en los resultados en la próxima zafra azucarera, sobre la base de la eficiencia, el ahorro, el uso racional de los recursos y el cumplimiento de los compromisos de siembra de caña durante la campaña de frío, que permita disponer de mayores niveles de materia prima; además, asumir un enfoque diferente y creativo en su vínculo con las comunidades azucareras, que propicie la elevación de la calidad de vida de sus pobladores e influya en la estabilidad de la fuerza laboral, tanto en los cañaverales como en los ingenios.

DISCUSION

Después de dos años de pandemia, incertidumbre es quizás la palabra más adecuada para describir el escenario económico mundial actual y el de los próximos meses y seguirá así, al menos hasta que no se disipen las dudas sobre la capacidad del mundo para contener la Covid-19 y sus efectos en materia económica y social. La economía mundial dependerá del rumbo que tome la pandemia, de las medidas políticas adoptadas por los países, así como de la evolución de las condiciones financieras y de los precios de las materias primas (8).

En medio de este complejo panorama, el sector agroindustrial de la caña sigue trabajando en la implementación de su estrategia que tiene como propósito contribuir al desarrollo sostenible de la región, aportar al progreso y la consolidación de mejores condiciones de vida para las comunidades y grupos de interés. Otro de los grandes desafíos que enfrenta la agroindustria a nivel mundial, es la estigmatización del consumo de azúcar, pues este ha sido el alimento que, por años, ha sido el motor de nuestra industria. Es el momento de aprender de las situaciones difíciles, buscar un sentido para sí mismos y para los demás, tender puentes entre las dificultades del presente y un futuro mejor y estar listos para continuar, a fin de seguir aportando al desarrollo de nuestra región y el país.

De igual manera, en Cuba, acometer acciones encaminadas a terminar en tiempo y forma las reparaciones de los centrales y de la maquinaria agrícola, en virtud de comenzar en fecha la zafra 2021-2022 en cada fábrica, para obtener resultados que posibiliten el cumplimiento del plan de azúcar (9).

Las organizaciones creadas deberán legitimar con hechos las razones por las que fueron creadas: resolver con integralidad los problemas de la producción de azúcar y generar las transformaciones del sector (además atender a los asentamientos poblacionales agrícolas), fortalecer las unidades básicas de producción cooperativa (UBPC), cooperativas de producción agropecuaria (CPA), cooperativas de créditos y servicios (CCS) y la jerarquización de los procesos productivos principales, azúcar, derivados y agropecuarios (9).

Condiciones competitivas que se vislumbran a mediano plazo en el mercado mundial del azúcar:

- Una tendencia a la baja de los precios del crudo, que lo colocará en un rango entre 18 y 24 centavos la libra.
- Un relativo estancamiento de las exportaciones de azúcar.
- Se acentuarán los precios afectados por factores de diversa índole.
- Se acentuará la tendencia a la concentración de las exportaciones en un pequeño grupo de países, entre los que sobresalen Brasil, Tailandia y Australia.
- Brasil sentará las pautas competitivas, por su importante participación en la exportación y en la producción mundial de azúcar, el bajo costo relativo de su agroindustria, la calidad de su crudo y su determinante influencia en la correlación de precios azúcar, petróleo, biocombustibles.
- La inversión extranjera directa continuará expandiendo su influencia en el sector y será el factor determinante de la dinámica competitiva global de la economía azucarera mundial.

CONCLUSIONES

La producción mundial de azúcar para la campaña 2021/2022, en el sector agroindustrial, seguirá con la implementación de sus estrategias, con el propósito de contribuir a su desarrollo sostenible, aportar al progreso y a la consolidación de mejores condiciones de vida para las comunidades.

La innovación y la racionalización del sector azucarero es el futuro, no solo de Cuba sino también para otros países de escasos recursos, que no tienen la posibilidad de competir con niveles de producción y de comercialización con los países desarrollados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile Facultad de Agronomía y Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal departamento de Economía agraria, Mercado del Azúcar y Precios de Referencia para la Aplicación de Bandas de Precios, 24 de enero de 2003, <https://www.odepa.gob.cl/publicaciones/estudios/mercado-del-azucar-y-precios-de-referencia-para-la-aplicacion-de-la-banda-de-precios>.
2. Observatorio de Commodites Azúcar. (enero-marzo) 2021. Dirección Gral. Políticas Agrarias. Dirección de Estudios Económicos. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. Perú
3. OCDE-FAO. Perspectivas Agrícolas 2020-2029
4. De Benardi, L.A.; Perfil del Azúcar. Ministerio de Agricultura, ganadería y pesca. Argentina. 2019.
5. F.O. Licht, World Sugar Statistics, 2003.
6. Santillán, A.; Santillán, L. R.; García, N.; Vásquez, L. R. Impacto de la sustitución del azúcar de caña por edulcorantes de alta intensidad en México. Estado de México. México: Universidad Autónoma Chapingo, 2017.
7. Febles, M. Cambio de estructura en el sector azucarero. febles@granma.cu. Septiembre 2021.
8. Calero, Claudia. 2020-2021. Cultivamos país, cosechamos solidaridad. Informe anual. Sector Agroindustrial de la caña (ASOCAÑA).
9. Soto, J.; López, R. Una era de esperanza para el azúcar. Noviembre 2021. www.periodico29.cu, Diario Digital de las Tunas, Cuba.

Mantenimiento y renovación de la certificación del Sistema de Gestión de la Calidad del Icidca

Grisel María Ortega Arias-Carbajal*, Tania García-Martínez, Marlyn Pérez-Rodríguez, Ana Nelis San Juan-Rodríguez, Santiago Estupiñán-Díaz, Armanda Cuesta-Hernández, Sidarma Hernández-Castellanos, Marta González-Martínez y Rocío Jurado-Sánchez

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)
Vía Blanca No. 804 y Carretera Central, San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba

* grisel.ortega@icidca.azcuba.cu

RESUMEN

La adopción de un sistema de gestión de la calidad es una decisión estratégica en una organización, que le puede ayudar a mejorar su desempeño. Muchas organizaciones, una vez que han implementado y certificado su Sistema de Gestión se olvidan de mantenerlo y pierden lo que han obtenido. En el presente trabajo se muestran las acciones realizadas en el ICIDCA con vistas a mantener y renovar la Certificación otorgada, en diciembre de 2019, del Sistema de Gestión de la Calidad, con alcance a las producciones de FitoMas y de Nitrofix, productos de amplia aplicación en el sector agrícola. Las acciones llevadas a cabo son: actualización de la proyección estratégica, revisión y actualización de la información documentada, seguimiento al sistema de medición, ejecución de servicios de calibración, capacitación al personal, realización de auditorías internas, revisión, por la dirección, solicitud y realización del servicio de auditoría de certificación (renovación). Esto permitió lograr el mantenimiento y la mejora continua del sistema de gestión, así como la renovación de la certificación, en abril de 2022, con vigencia hasta el 2024 y demostrar la solidez del sistema e incrementar la imagen de la organización y del valor agregado de estos productos.

Palabras clave: Sistema de Gestión, Calidad, Certificación.

ABSTRACT

The adoption of a quality management system is a strategic decision in an organization, which can help improve its performance. Many organizations, once they have implemented and certified their Management System, forget to maintain it, losing what they have obtained. The present work shows the actions carried out at the ICIDCA with a view to maintaining and renewing the Certification granted, in December 2019, of the quality management system, with scope to the productions of FitoMas and Nitrofix, products of wide application in the agricultural sector. The actions carried out are: updating of the strategic projection, review and updating of the documented information, monitoring of the measurement system, execution of calibration services, training of personnel, performance of internal audits, review by management, request and performance of the certification audit service (renewal). This allowed to achieving the maintenance and continuous improvement of the management system as well as the renewal of the certification, in April 2022, valid until 2024; demonstrating the solidity of the system and leading to an increase in the image of the organization and the added value of these products.

Key words: system, quality, certification.

INTRODUCCIÓN

La calidad constituye un valor y un eje alrededor del cual giran las estrategias competitivas de un número creciente de organizaciones a nivel mundial, tiene un conjunto de implicaciones, entre las

que se destacan la necesidad de la mejora del desempeño, el mantenimiento de una posición en el mercado y el incremento de la imagen organizacional.

Un sistema de gestión es el modo en el que una empresa u organización ordena sus procesos para conseguir la satisfacción del cliente y de las partes interesadas. Al decidir implantar un sistema de gestión, en Cuba, se debe tener en cuenta que se puede obtener la certificación de acuerdo con la NC ISO 9001:2015 (1), a través del servicio de auditoría de certificación de la Oficina Nacional de Normalización (ONN). La adopción de un sistema de gestión de la calidad (SGC) es una decisión estratégica para una organización, que le puede ayudar a mejorar su desempeño. Muchas organizaciones, una vez que han implementado y certificado su sistema de gestión de la calidad se olvidan de mantenerlo y pierden lo que han obtenido; esto puede deberse a que el SGC se ve como algo separado de los procesos, como actividades alejadas de lo cotidiano que impiden que los procesos avancen. Una vez que se ha documentado e implementado el sistema, la organización debe realizar los mayores esfuerzos para buscar oportunidades de mejora que le ayuden a seguir cumpliendo y mejorando las expectativas de sus clientes y partes interesadas.

El ICIDCA, desde 2011 hasta mayo de 2021 mantuvo certificado un sistema integrado de gestión Calidad e Inocuidad por las Normas NC ISO 9001 y NC ISO 22 000, vigentes, por la ONN, con alcance a la producción de rones Premium “Vigía”, productos certificados con la Marca Cubana de Conformidad. En diciembre de 2019, logró ampliar el alcance del sistema de gestión de la calidad a otras producciones, como: FitoMás y Nitrofix, producidos por las unidades de base empresariales (UEB): Habana (hoy UEB Producciones y Escalado) y por la UEB Bioprocesos Cuba 10, respectivamente (2). La producción de FitoMas y Nitrofix (líderes del ICIDCA), son productos de amplia aplicación en el sector agrícola, en varios cultivos, por su efectividad y su contribución a la protección del medio ambiente.

Debido a que la producción y comercialización de rones en 2021, no se continuó en la organización, por la creación de la firma mixta Cuba–Noruega, en el país; se definió por la alta dirección, continuar trabajando para mantener certificado el SGC, con alcance a las producciones de FitoMas y Nitrofix.

En el presente trabajo se muestran las acciones realizadas en el ICIDCA con vistas a lograr mantener y renovar la certificación del sistema de gestión de la calidad con alcance a las producciones de FitoMas y Nitrofix.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para mantener implementado el sistema de gestión y lograr renovar su certificación se tuvieron en cuenta los requisitos de la NC ISO 9001:2015 (1) y la información documentada del sistema, los requisitos legales y reglamentarios aplicables. Una tormenta de ideas permitió la toma de decisiones respecto a cómo proyectar el trabajo. Se utilizó la técnica de revisión de documentos. Se establecieron diversas acciones como resultado de la tormenta de ideas, a las que se les dio seguimiento y se monitoreó el estado de su cumplimiento; dichas acciones son: actualización de la proyección estratégica, revisión y actualización de la información documentada, seguimiento al sistema de medición, ejecución de servicios de calibración, capacitación al personal, realización de auditorías internas, revisión por la dirección, solicitud y realización del servicio de auditoría de certificación (renovación). Se conformó el expediente de solicitud del servicio de certificación con los requerimientos establecidos (3) y se entregó en la ONN.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con vistas a mantener y renovar la certificación del sistema de gestión de la calidad se especifica, a continuación, en qué consistieron las acciones llevadas a cabo.

1. Actualización de la proyección estratégica hasta 2030

En la actualidad, los temas relacionados con el conocimiento, la ciencia, la tecnología y la innovación ocupan un lugar relevante en el Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social hasta 2030. La cooperación entre el sistema de ciencia y tecnología y el sector productivo de la agroindustria de la caña de azúcar permite lograr la valorización del conocimiento y la investigación científica dentro de la organización productiva. El ICIDCA como entidad de Investigación-Desarrollo-Innovación y comercialización del Grupo Azucarero AZCUBA, articula la gestión de ciencia con la actividad de innovación / generalización y la estrategia de desarrollo de la Agroindustria de la caña de azúcar y tiene en cuenta las prioridades del Programa Nacional de la Agroindustria Azucarera y está alineado con los programas de desarrollo municipales.

En la organización se identificaron y determinaron, por la alta dirección, las líneas de investigación-desarrollo-innovación, hasta 2030 (4), a continuación se describen:

- Tecnología azucarera y sus derivados
- Alimentación animal
- Bioproductos y agroquímicos para la agricultura y la salud animal
- Medio ambiente
- Simulación de procesos azucareros y sus derivados
- Alcoholes y bebidas
- Desarrollo de enzimas
- Soluciones con energías renovables
- Sistemas de gestión de la calidad
- Nuevos materiales de alto valor agregado
- Desarrollo de materias primas para medicamentos
- Sustitución de importaciones
- Elevar explotación de las plantas de alimento animal (Seguridad alimentaria)
- Proyectos de I + D de nuevas producciones industriales
- Encadenamiento nacional-inversión extranjera

Como Misión, el ICIDCA se plantea: investigar, desarrollar, innovar y transferir productos y tecnologías sostenibles y compatibles con el medio ambiente, brindar servicios científico-técnicos y capacitación especializada; además, cerrar el ciclo con la producción y comercialización de productos de alto valor agregado, obtenidos de las acciones de investigación y desarrollo, que garanticen el aprovechamiento integral y diversificado de la caña de azúcar.

Entre los objetivos incluidos en esta estrategia se encuentran los siguientes: promover y asegurar, en función de la integración de los resultados, las cadenas productivas y redes de valor, el cierre de ciclo científico productivo, mediante el aseguramiento de una estrecha relación entre la generación del nuevo conocimiento y la producción de bienes y servicios. Al respecto, se enfocan entre las producciones las de FitoMas y las biológicas (Nitrofix), producidas en la UEB Producciones y Escalado y en la UEB Bioprocesos Cuba 10, respectivamente. Por otra parte, el ICIDCA cuenta con un sistema de gestión de la calidad certificado por la norma NC ISO 9001: 2015, con alcance a las producciones de FitoMas y Nitrofix. Con respecto a los sistemas de gestión, se mencionan entre las acciones derivadas del análisis del contexto interno: consolidar el sistema de gestión de la calidad implantado y ampliar el alcance a la totalidad de los procesos claves. Entre las líneas estratégicas de investigación-desarrollo-innovación se encuentran los sistemas de gestión de la calidad.

La proyección estratégica se revisa anualmente. La alta dirección estableció que la estrategia del ICIDCA se ubica en tres ejes estratégicos: Transformación Productiva e Inserción Internacional, Ciencia, Tecnología e Innovación y Recursos Naturales y Medio ambiente. De esta forma se contribuye a conectar la ciencia con la economía y potenciar el papel de la innovación y la generación de

conocimientos, para la competitividad empresarial y el perfeccionamiento de la administración pública, con énfasis en la investigación aplicada, para estimular el sistema de incentivos a la innovación y la articulación de los distintos actores del sistema (4).

2. Revisión y actualización de la información documentada

Se revisaron las fichas que documentan los 9 procesos identificados en el SGC:

- Procesos estratégicos: Planificación Estratégica, Medición, Análisis y Mejora
- Procesos clave: Producción de FitoMas y Producciones Biológicas (Nitrofix)
- Procesos de apoyo: Gestión Administrativa, Gestión Comercial y Negocios, Gestión Económico-financiera y Contable, Gestión del Capital Humano, Informatización y Automatización

Se incluyeron los cambios que están relacionados con el contexto organizacional y estos se controlan.

Se revisaron y actualizaron 6 procedimientos generales y una instrucción, del sistema de gestión:

- Requisitos de la información documentada, control y registros MAM-C/P-01
- Auditoría Interna al sistema de gestión MAM- C/P-02
- Instrucción para elaborar el informe de auditoría MAM-C/IT-01
- Control de No Conformidades y Acciones correctivas MAM- C/P- 03
- Producto o Servicio No Conforme MAM- C/P-04
- Aseguramiento metrológico MAM-C/P-05
- Revisión por la Dirección del sistema de gestión MAM-C/P-06

Se revisaron y actualizaron, además, los procedimientos e instrucciones específicos de los procesos y sus correspondientes registros, así como el Manual del Sistema de Gestión.

3. Revisión y seguimiento al sistema de medición

El seguimiento y la medición **brindan información sobre el estado de un sistema de gestión**, proceso o actividad dentro del sistema de gestión de calidad (5). A continuación se describe la revisión y el seguimiento realizado al sistema de medición:

Seguimiento a los Objetivos

El cumplimiento de los objetivos, se ha chequeado en el Consejo de Dirección, con frecuencia trimestral. Al finalizar los años 2021 y 2022 se alcanzaron valores superiores al 80 % de cumplimiento, según lo planificado, en los que han incidido las limitaciones de recursos para las producciones, debido al bloqueo económico impuesto al país.

Desempeño de los procesos y conformidad de los productos

El desempeño de los procesos se ha evaluado a través de sus indicadores. Se revisaron, con frecuencia semestral, los resultados del desempeño de los 9 procesos del sistema de gestión, en el período 2019-2021 para detectar las posibles necesidades de cambios y acciones a tomar en cada caso. Los procesos se consideran eficaces, siempre y cuando se obtenga evaluación con valor igual o superior al 80 %, en cada proceso. Al cierre de 2021, los procesos que resultaron con mayor eficacia fueron: Medición Análisis y Mejora, Gestión del Capital Humano, Gestión Comercial y Negocios, Gestión Económico-financiera y Contable, Informatización y Automatización, con valores superiores al 85 % de eficacia. Los procesos productivos alcanzaron valores alrededor del 75 % de eficacia, en los que incidió la falta de insumos para dichas producciones. Se reporta en 2019 y 2020 un lote No Conforme, de FitoMas E, por no cumplir con los parámetros establecidos que fue reprocesado

y, posteriormente, liberado; sin embargo, en 2021 no se reporta lote No Conforme. Con respecto a las producciones biológicas (Nitrofix), no se reportaron lotes No Conforme en el período 2019-2021.

Seguimiento y actualización de los planes de prevención de riesgos

Se conformó un plan de prevención de riesgos a nivel de organización, en los que se incluyeron los riesgos de mayor impacto y en cada proceso (se incluyeron riesgos de mediano y menor impacto). Los planes de prevención se actualizan anualmente, se tiene en cuenta la incidencia de los cambios en el entorno de la organización. Asimismo, se siguió el cumplimiento de las acciones para abordar los riesgos, con la evaluación de su eficacia. En la actualidad han sido evaluadas las acciones para abordar 59 riesgos; para un total de 83 acciones a evaluar, se obtiene un 94 % de eficacia de dichas acciones.

Seguimiento al cumplimiento de las acciones para abordar las oportunidades

Se realizó el seguimiento a las oportunidades que se derivan del análisis del contexto externo. De 3 oportunidades definidas, se finaliza el 2020, con 14 acciones en total a realizar y se logró un 92 % de eficacia de cumplimiento. Al cierre de 2021 y del primer semestre de 2022, se encuentran definidas 3 oportunidades, con 12 acciones a ejecutar, de estas se han cumplido diez acciones, se reportan dos en proceso, para un 84 % de eficacia.

Seguimiento a los resultados de la evaluación de proveedores

Fueron evaluados y reevaluados los proveedores de las compras realizadas y de los servicios recibidos, según corresponde a lo establecido en el SGC. Se puede señalar que los proveedores de las compras realizadas, en su mayoría, han obtenido evaluaciones de Confiable (88 %), hasta la fecha, queda un proveedor como No Confiable, por no cumplir con todos los criterios establecidos. A cada proveedor, se le comunicaron los resultados obtenidos.

Seguimiento a los resultados de la evaluación de la satisfacción de los clientes

Contar con información sobre cómo los clientes perciben a la organización, es un valioso aporte para un mayor desarrollo de los productos y servicios que se brindan (6). Se debe señalar que en 2019, 2020 y 2021, el 100 % de los clientes encuestados quedaron satisfechos con los resultados obtenidos con la aplicación de los productos FitoMas y Nitrofix y mostraron un nivel de satisfacción elevado, entre Muy satisfecho y Satisfecho.

Seguimiento a las acciones respecto a las oportunidades de mejora, en cada proceso

Se chequeó semestralmente el estado de cumplimiento, según lo planificado, de las acciones tomadas para lograr la mejora; se evidenció, de forma general, su cumplimiento. Durante el período 2020 y 2021, se establecieron 4 oportunidades de mejora a nivel de organización y se alcanzó un 100 % de cumplimiento de las acciones a ejecutar. En 2022 se han establecido 3 oportunidades de mejora, cuyas acciones se encuentran en proceso.

4. Seguimiento al estado de cumplimiento de las acciones correctivas a las No Conformidades detectadas en el sistema de gestión y verificación de la eficacia de las acciones

A las No Conformidades detectadas entre 2019-2021 se les asignaron las correspondientes acciones correctivas con vistas a su cumplimiento, se definieron fechas de cumplimiento planificado y responsables, de igual forma se verificó la eficacia en cada una. Hasta la fecha quedan por cerrar 4 No Conformidades, relacionadas con las producciones, debido a limitaciones en las compras.

5. Ejecución de los servicios de calibración de los equipos e instrumentos de medición

Anualmente se realizan las calibraciones correspondientes al equipamiento e instrumentos de medición, vinculados a los procesos productivos, se garantiza la trazabilidad de las mediciones en las magnitudes correspondientes. En la actualidad, se continúan dichas acciones y se ha alcanzado un 94 % de ejecución, valor superior al 2019, 2020 y 2021.

6. Seguimiento de las producciones

Se realiza en el Grupo de Mejora establecido en cada UEB y en el Consejo de Producción, mensualmente. En este último órgano se toman las decisiones correspondientes.

7. Capacitación del personal

En el ICIDCA se ha insertado nuevo personal, que se ha vinculado al trabajo en las producciones de FitoMas. Este personal se ha capacitado en temas de SGC, mediante un curso impartido por expertos y capacitación específica en los requisitos, en relación con el proceso de producción de FitoMas. Todo el personal vinculado al alcance del SGC, debe comprender y entender qué es el sistema de gestión y qué consecuencias tiene el no hacer bien su trabajo en el logro de la satisfacción del cliente. La medición posterior de la eficiencia de la capacitación facilitó información sobre cómo las personas adquirieron competencia.

8. Realización de auditorías internas

La organización debe llevar a cabo auditorías internas, a intervalos planificados, para proporcionar información acerca de si el SGC es conforme con los requisitos propios de la organización y con los requisitos de la NC ISO 9001:2015 y si el sistema se implementa y mantiene eficazmente (1). En el ICIDCA se realizan con frecuencia semestral, auditorías internas al SGC, con alcance a las producciones de FitoMas y de Nitrofix. En las auditorías realizadas en 2020, 2021 y primer semestre 2022 se verificó, en cada caso, que el sistema se mantiene implementado.

9. Revisión por dirección del sistema de gestión

La revisión por dirección se lleva a cabo en cada proceso, se presenta, se discute y aprueba, en el Consejo de Calidad Medio Ambiente, según su plan temático, así como se presenta una Revisión por Dirección (general), en el Consejo de Dirección del ICIDCA y se toman acuerdos al respecto, para la mejora continua del sistema de gestión. La alta dirección muestra un alto grado de compromiso con el sistema de gestión.

10. Solicitud a la ONN del servicio de auditoría de certificación

Posterior al otorgamiento de la certificación del SGC para los alcances de producciones de FitoMas y Nitrofix, en diciembre de 2019 y al tener como base el trabajo realizado para mantener esta certificación, se procedió a conformar el expediente de solicitud del servicio de certificación, con vistas a renovar la certificación y cumplir con los requisitos que establece la ONN (3) y, posteriormente, entregar este a la organización.

11. Realización de auditoría de Certificación por parte de la ONN

Se llevó a cabo el servicio de auditoría de certificación, por parte de la ONN, en el segundo semestre de 2021. La auditoría sólo detectó una No Conformidad menor, a la que se le realizó el correspondiente análisis de causas y se le asignaron las acciones correctivas adecuadas y esta se solucionó; en el tiempo establecido. Se evidenció que el sistema es conforme con los criterios de auditoría declarados y se encuentra implantado.



El 13 de abril de 2022, la ONN otorgó la Certificación con alcance a las producciones de FitoMas y Nitrofix (figura 1), y renovar así, la certificación; vigente hasta el 10 de mayo de 2024, según establece Resolución ONN, No. 59/2022 (7).

Figura 1. Certificación del SGC del ICIDCA.

CONCLUSIONES

Las acciones llevadas a cabo en el ICIDCA, a partir de la certificación, en 2019, del sistema de gestión de la calidad, con alcance a las producciones de FitoMas, producido en la UEB Producciones y Escalado y de Nitrofix, en la UEB Bioprocesos Cuba 10, permitieron lograr el mantenimiento y la mejora continua del sistema y renovar la certificación en abril de 2022, respecto a la NC ISO 9001:2015, con vigencia hasta 2024; lo que demuestra la solidez del sistema y conlleva a un incremento de la imagen de la organización y del valor agregado de estos productos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ONN 2015. NC ISO 9001:2015. Sistemas de Gestión de la Calidad. Requisitos, 2015.
2. Ortega, G.; *et al.* Certificación del Sistema de Gestión de la Calidad del Instituto Cubano de Investigación de los Derivados de la Caña de Azúcar con alcance a las producciones de FitoMas y Nitrofix. Revista Icidca sobre los derivados de la caña de azúcar, Vol., 54, No. 3., septiembre-diciembre de 2020, pág. 89-99.
3. Oficina Nacional de Normalización (ONN). Requisitos y Procedimiento General (RPG) para la Certificación de Sistemas de Gestión. Versión 13. Anexo a la Resolución No. 286/2021 de la Oficina Nacional de Normalización. 2021.
4. ICIDCA. Estrategia de desarrollo del ICIDCA 2022-2030. Informe Marzo. 2022.
5. Gómez I. Mantenimiento ISO 9001. Sistemas de Gestión de la Calidad. <http://www.hederaconsultores.com>. Consultado. Julio. 2022.
6. Escuela Europea de Excelencia. Nueva ISO 9001:2015 ¿Cómo mantener un Sistema de Gestión de la Calidad? <https://www.escuela-europea-excelencia.com/>. Consultado Julio 2022.
7. Oficina Nacional de Normalización (ONN). Resolución No 59. Renovación de la certificación del Sistema de Gestión de la Calidad del ICIDCA conforme a la NC ISO 9001:2015 para el alcance producción de FitoMas producido por la UEB Producciones y Escalado y Nitrofix por la UEB Bioprocesos Cuba 10 y otorgamiento del Certificado. 13 de abril, 2022.