ICIDCA
sobre los derivados de la caña de azúcar

Vol. 57, No. 1 – enero-abril - 2023

Resultados de caña planta de nuevos cultivares de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) seleccionados en la provincia de Cienfuegos
Sugarcane plant results of new sugarcane cultivars (*Saccharum spp*.) selected in the province of Cienfuegos

Héctor Jorge-Suárez, Irenaldo Delgado-Mora, Juan Carlos Rosa-González, Francisco Cuadras-Isaac, Yodilia Dávila-Pérez, José R. González-Pérez, Oscar Suárez-Benítez y Alberto González-Marrero

Diversificación de la industria azucarera y bioeconomía circular: las rutas de la energía
Sugarcane industry diversification and circular bio-economy: the energy routes

Raúl Sabadí-Díaz

Evaluación de la etapa final de tratamiento del ron añejo
Evaluation of the final treatment stage of aged rum

Heylin González-Álvarez, Lourdes Zumalacárregui-de Cárdenas, Osney Pérez-Ones,
e Idania Blanco-Carvajal

Impacto de la formulación Fitomás-EC y su combinación con Gluticid en variedades de maíz y papa
Impact of the formulation Fitomás-EC and their combination with Gluticid in varieties of corn and potato

Adolfo Brown-Gómez, Elein Terry-Alfonso, Yudines Carrillo-Sosa, Josefa Ruiz-Padrón,
Eulalia Gómez-Santiesteban, Amaury Álvarez-Delgado, Yamilet Mantilla-García,
José A .Andarcio-Medina y Yohana Fernández-Oñate

Procedimiento para la optimización de mermas del proceso de añejamiento de rones
Procedure for the optimization losses in the aging process of rum

Beatriz García-Castellanos; Osney Pérez-Ones; Lourdes Zumalacárregui-de Cárdenas
e Idania Blanco-Carvajal

Estudios cinéticos, de equilibrio y termodinámicos para la recuperación de potasio en zeolita natural del yacimiento San José del Chorrillo
Kinetics, equilibrium and thermodynamic studies for potassium recovery in natural zeolite from the San José del Chorrillo deposit

Massiel González-Torres, Mario A. Martínez-García, José M. País-Chanfrau, Ileana Pereda-Reyes y Ania Cabrera-Díaz

Estudio de extracción de cera, a partir de cutícula de caña de azúcar con solventes orgánicos, a escala de laboratorio
Study of wax extraction from the cuticle of sugar cane with organic solvents on a laboratory scale

Marcela Fernández-Casiis, Eduardo Hernández-Ramos, Katherine Pérez-Carrión, Manuel Díaz-de los Ríos y José María Mesa-López

Nanotecnología aplicada al tratamiento de aguas residuales
Application of Nanotechnology in wastewater treatment

Yarelys Herrera-Díaz y Georgina Michelena-Álvarez

Automatización de tamices moleculares para la obtención de alcohol absoluto
Automation of molecular sieves to absolute alcohol obtain

Marlen Lorenzo-Maiquez, Andy Noel Casañas-Marrero, Gustavo Saura-Laria y Luis Alberto González Rodríguez

La vigilancia tecnológica en el Sistema de Gestión de la Calidad, con enfoque a la actividad de I+D+i
Technological surveillance in the quality management system, with a focus on R+D+i activity

Teresa de la Caridad Ledoux-Ovies y Grisel Ortega-Arias-Carvajal

Fitomás-E: aliado de los rendimientos en los cultivos agrícolas. Realidades y perspectivas
Fitomás-E: ally of yields in agricultural crops. Realities and perspectives

Lorenzo Montero-San José y Bárbara Rodríguez-González

Resultados de caña planta de nuevos cultivares de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) seleccionados en la provincia de Cienfuegos

Héctor Jorge-Suárez[1], Irenaldo Delgado-Mora[1], Juan Carlos Rosa-González[1], Francisco Cuadras-Isaac[1], Yodilia Dávila-Pérez[2], José R. González-Pérez[1], Oscar Suárez-Benítez[1] y Alberto González-Marrero[1]
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

Se estudiaron tres experimentos de variedades en las estaciones del Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA) de Matanzas, Cienfuegos y Villa Clara, plantados entre los meses de julio y agosto de 2020 (Frío, Ciclo C) y evaluados en febrero con 18-19 meses de edad, en la zafra 2022. El área de las parcelas de los experimentos fue de 48 m^2, se empleó el diseño experimental de bloque al azar, con tres repeticiones. Los Bancos de madurez, para determinar el contenido azucarero durante el período de noviembre a marzo, se plantaron en el Bloque Experimental de Sagua y en el INICA Sancti Spiritus. Fueron evaluados diecisiete cultivares en las tres localidades, coincidieron dieciseis. Las variables evaluadas fueron: t caña ha^{-1}, porcentaje de pol en caña y t pol ha^{-1}, se realizaron Análisis de varianza simple entre los cultivares, en las variables antes indicadas. En las t pol ha^{-1} se realizó un análisis de conglomerados, para determinar el agrupamiento de los cultivares Las pruebas estatales de resistencia a las enfermedades Roya Parda, Carbón, Virus del Mosaico de la Caña de Azúcar y Escaldadura Foliar se realizaron en el INICA-Matanzas. Los resultados reflejaron que los cultivares de mejor comportamiento en la variable t pol ha^{-1} y resistentes o tolerantes a las principales enfermedades fueron C10-157 y C09-152 en los tres sitios de estudio, C09-155 en Matanzas y Cienfuegos, C10-160 en Cienfuegos y Villa Clara, C10-171 en Matanzas y C10-163 en Cienfuegos. Las nuevas variedades C10-163 y C10-166 mostraron un contenido de azúcar similar a la C86-12 y resistencia a estas patologías
Palabras clave: cultivares, experimentos, Banco de madurez.

ABSTRACT

Three variety experiments were studied at the INICA stations in Matanzas, Cienfuegos and Villa Clara, planted between the months of July-August 2020 (Cold, Cycle C) and evaluated in February at 18-19 months of age in the 2022 harvest. The area of the plots of the experiments was 48 m^2, the randomized block experimental design with three repetitions was used. The Maturity Banks to determine the sugar content during the period from November to March were planted in the Sagua Experimental Block and in the INICA Sancti Spiritus. Seventeen cultivars were evaluated in the three locations, sixteen coincided. The variables evaluated were: t cane $ha^{-1,}$ percentage of pol in cane and t pol ha^{-1}, simple variance analysis was performed between the cultivars in the worked variables. In the t pol ha^{-1}, a Conglomerate Analysis was carried out to determine the grouping of the cultivars. The state tests of resistance to the Brown Roya, Coal, Mosaic Virus and Leaf Scald diseases were carried out at INICA-Matanzas. The results showed that the cultivars with the best behavior in the variable t pol ha^{-1} and resistant or tolerant to the main diseases were C10-157 and C09-152 in the three study sites, C09-155 in Matanzas and Cienfuegos, C10- 160 in Cienfuegos and Villa Clara, C10-171 in Matanzas and C10-163 in Cienfuegos. The new varieties C10-163 and C10-166 showed a sugar content similar to C86-12 and resistance to the main pathologies
Key words: cultivars, experiments,Maturity ban.

INTRODUCCIÓN

Las tendencias actuales en la agricultura cañera requieren, para su implementación, que se establezcan las bases para obtener nuevos cultivares de caña de azúcar adaptados a las variaciones edafoclimáticas, asociadas al cambio climático que incidan, a mediano y largo plazos, en la aparición de nuevas patologías y en el desplazamiento del período de crecimiento y maduración del cultivo. En este contexto, entre las soluciones más prácticas y económicas se encuentran en la búsqueda de genotipos con resistencia al estrés: biótico y abiótico, mediante el desarrollo de programas de Mejoramiento genético (1).

La evaluación de genotipos en distintos ambientes es una de las prácticas más usuales para recomendar nuevos cultivares a los productores (2), para esto es necesario acercar, lo más posible, los ambientes de selección de los cultivares a los ambientes de destino (3, 4).

El objetivo de este trabajo es mostrar los resultados alcanzados con nuevos cultivares seleccionados en Cienfuegos en la cepa de caña planta, comparados con un grupo de variedades comerciales evaluadas en los territorios de Matanzas, Cienfuegos y Villa Clara, en las variables t caña ha^{-1}, porcentaje de pol en caña y t pol ha^{-1}, así como en su dinámica de madurez, durante el período de noviembre a marzo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los estudios se realizaron en los suelos Ferralítico rojo, de la localidad de Jovellanos, Pardo sin carbonato, de Espartaco y Oscuro plástico, de Sagua la Grande, pertenecientes a las estaciones del INICA Matanzas, Cienfuegos y Villa Clara, respectivamente. La clasificación empleada para los suelos fue según (5). Los ensayos se plantaron entre los meses de julio y agosto de 2020 (Frío, Ciclo C) y se evaluaron en febrero con 18-19 meses de edad, en la zafra 2021-2022.

El área de las parcelas de los experimentos fue de 48 m^2 (4 surcos de 7.5 m de largo, a una distancia entre surcos de 1.60 m), de acuerdo con las Normas Metodológicas del Programa de Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar en Cuba (6). Se empleó el diseño experimental de bloque al azar, con tres repeticiones

Los Bancos de madurez para determinar el contenido azucarero, durante el período de noviembre a marzo, se plantaron en el Bloque Experimental de Sagua y en el Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA) Sancti Spiritus, en suelos Oscuro plástico y Pardo con carbonato, respectivamente.

Fueron evaluados diecisiete cultivares (ocho nuevos, ocho comerciales y la C98-357 de reciente incorporación en las tres localidades, coincidieron dieciséis, la B80250 solo se incluyó en Sagua la Grande (tabla 1). Los nuevos cultivares presentan diferente contenido de azúcar (alto o medio), por lo que su comparación en la curva de madurez se realizó de acuerdo con el testigo comercial, que presentó similares características en esta variable (7)

Tabla 1. Cultivares evaluados en los tres sitios de pruebas

No.	Cultivares	No.	Cultivares	No.	Cultivares
1	C09-152 (Alt)	7	C10-166(Alt)	13	C92-325 (Med.T)
2	C09-154(Med)	8	C10-171(Med)	14	C95-416 (Alt)
3	C09-155(Med)	9	C86-12 (Alt. T)	15	C97-445 (Alt)
4	C10-157(Alt)	10	C90-469(Alt. T)	16	C98-357(Alt)
5	C10-160 (Alt)	11	C323-68(Med.T)	17	B80250 (Alt *)
6	C10-163(Alt)	12	C86-156 (Alt.)		

Alt. Alto contenido de azúcar, Med. Contenido de azúcar medio, (T)- testigo;
(*)- solo en la localidad de Sagua la Grande.

Las variables valoradas fueron: t caña ha^{-1} (TCH), porcentaje de pol en caña (PPC) y t pol ha^{-1} (TPH). El rendimiento agrícola (t caña ha^{-1}) se estimó de acuerdo con lo descrito por Martins y Landell (8), mientras que el PPC se determinó por dos métodos diferentes: por el método de la desfibradora y la prensa de las empresas agroindustriales azucareras (EAA) Ifrain Alfonso (Experimento de Cienfuegos), Jesús Rabí (Experimento de Matanzas) y Héctor Rodríguez (Experimento de Villa Clara). Para la confección de la curva de madurez los valores del contenido de azúcar se determinaron por el método del molino, en los laboratorios del INICA antes mencionados.

Con los resultados de los estudios, en las tres localidades, se realizaron Análisis de varianza simple con el propósito de conocer las diferencias existentes entre los cultivares en las variables estudiadas. En las TPH se realizó un análisis de conglomerados (*Cluster Analysis*), para determinar el agrupamiento de los cultivares, en este análisis se empleó el método del vecino más lejano, con la distancia euclidiana; y, finalmente, para comprobar que los grupos en el análisis de conglomerados estaban bien formados, se realizó un Análisis de varianza simple entre grupos y la Prueba de comparación de medias, mediante la Prueba de múltiples de rangos con dócima de Tukey ($p<0.01$ y $p<0.05$).

Las pruebas Estatales de Resistencia a las enfermedades Roya Parda (*Puccinia melanocephala* H. Sydow and P. Sydow), Carbón *(Sporisorium scitamineum* Sydow), Virus del Mosaico de la Caña de Azúcar (VMCA) (Virus del tipo Polyvirus) y Escaldadura Foliar (*Xanthomonas albilineans* Ashby, Dowson) se realizaron en el INICA-Matanzas (Jovellanos).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

INICA-Matanzas. Localidad de Jovellanos

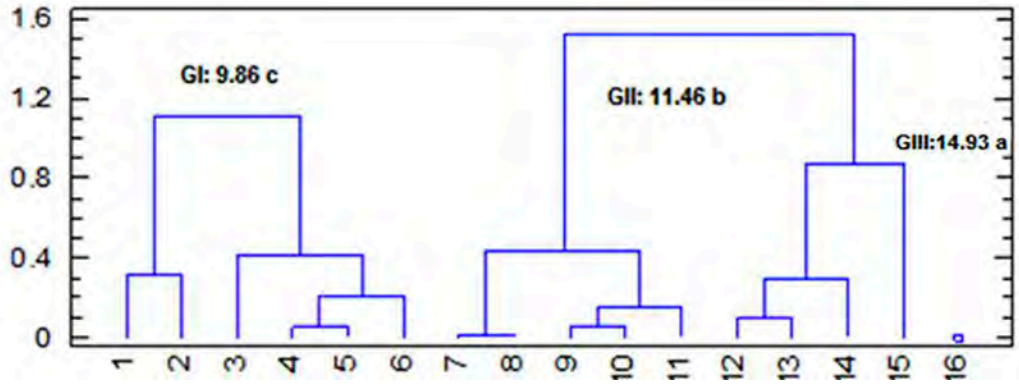
El análisis de varianza ofreció que solo hubo diferencias significativas para la variable t pol ha^{-1} (tabla 1). La figura 1 mostró que el cultivar C10-171 (G III) fue el de mejor comportamiento y los nuevos cultivares C10-157, C09-152 y C09-155 (GII) alcanzaron resultados comparables con seis genotipos en explotación comercial (C86-12; C90-469; C86-156; C97-445; C92-325 y C95-416).

Tabla 2. Análisis de varianza en las variables estudiadas. Matanzas

F. Variación	G.L	TCH C. Medios	Sign	PPC C. Medios	Sign	TPH C. Medios	Sign
Cultivares	15	102.61	NS	1.53	NS	4.78	*
Error	32	86.56		1.85		2.72	
X ± ES		71.20±15.37		15.47±0.8		11.02±0.95	

GL: grados de Libertad, C. Medios: cuadrados Medios, TCH: toneladas de caña por hectáreas; PPC: porcentaje de pol en caña, TPH: toneladas de pol por hectáreas; Sign: significación estadística; NS: no significativo estadísticamente; *: Significación estadística al 5 % de probabilidad.

Es de señalar que la C10-171 es de maduración intermedia, por lo que fue comparada con la C323-68 y C92-325 (figura 2), la que manifestó valores ligeramente superiores a los testigos en el PPC, en los meses de noviembre y diciembre, igualando a la C323-68 en enero y, ligeramente inferior a los controles de comparación, en febrero-marzo.



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

Figura 1. Resultados de los cultivares evaluados en la variable t pol ha^{-1}.

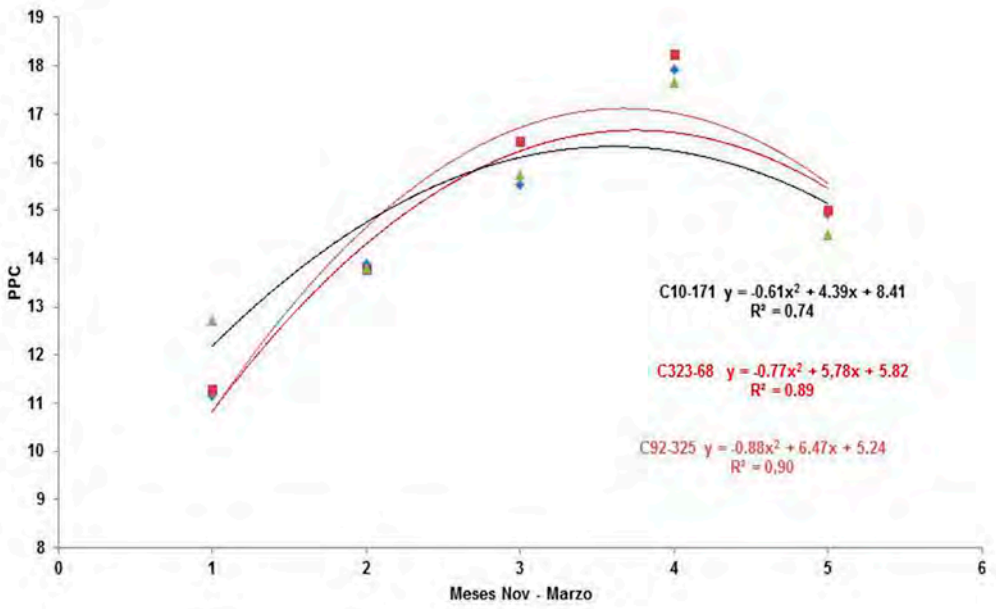


Figura 2. Curvas de madurez de C10-171 comparado con las variedades comerciales C323-68 y C92-325.

En la figura 3 se observa que los cultivares C09-152 y C10-157 tuvieron un contenido de azúcar superior a la C90-469, desde diciembre hasta febrero; mientras la C09-155 fue similar a la C323-68 (figura 4) en noviembre y febrero, superior en marzo e inferior en diciembre-enero.

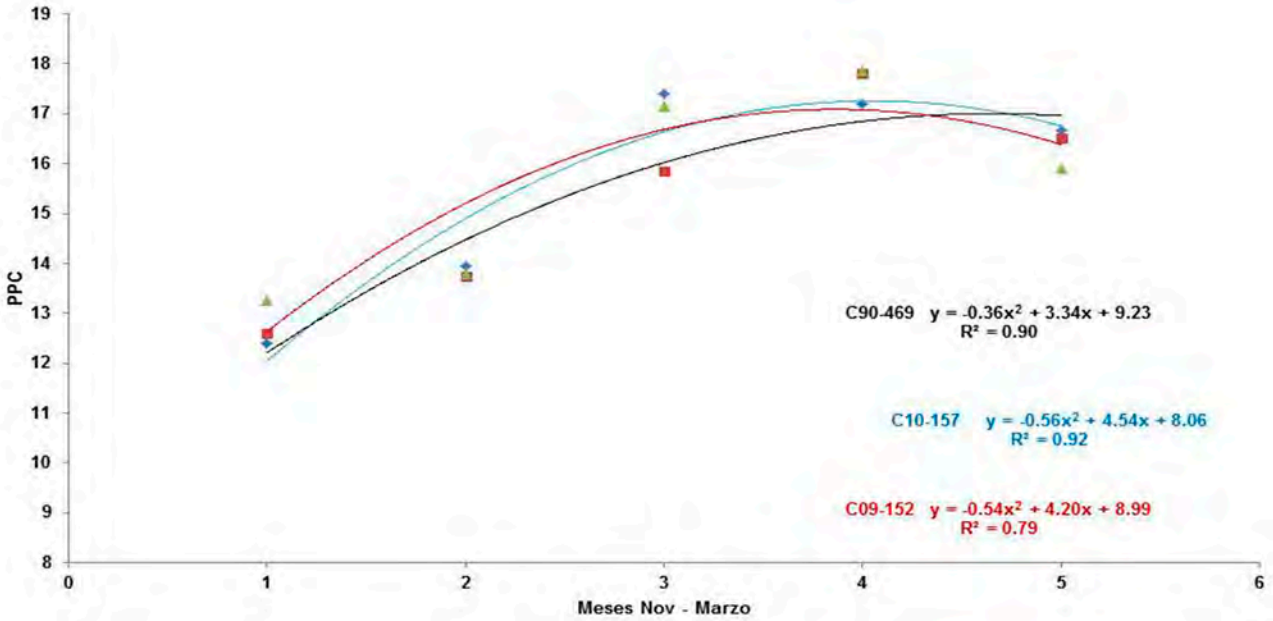


Figura 3. Curvas de madurez de los cultivares C10-157 y C09-152 comparados con la C90-469.

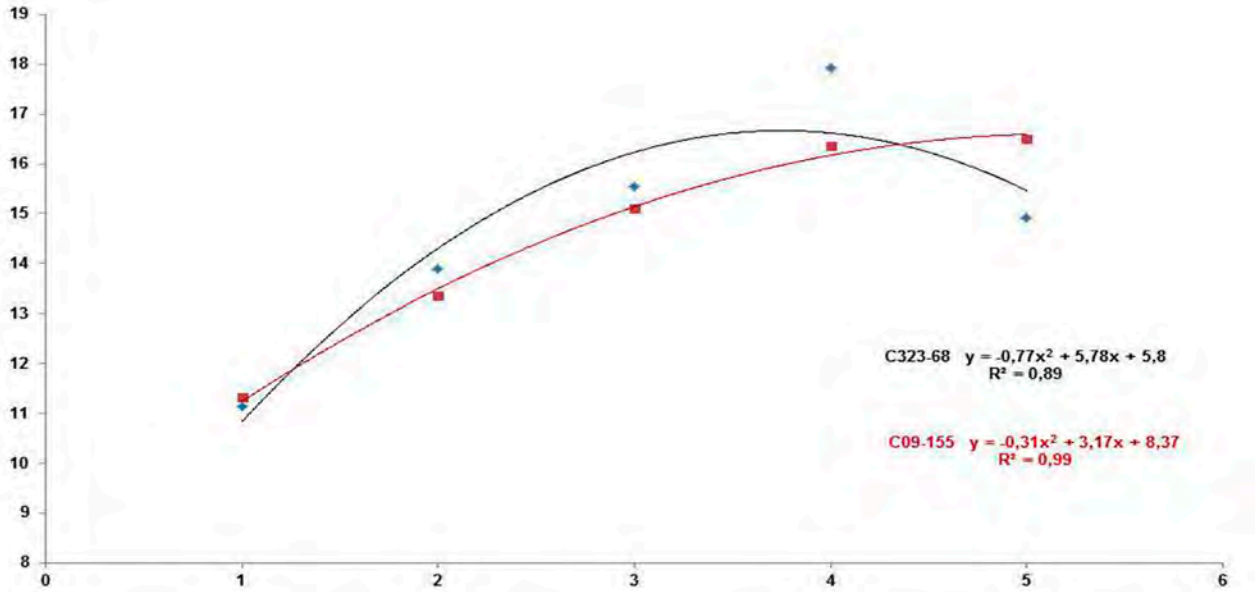


Figura 4. Curvas de madurez de la C09-155 comparada con la C323-68.

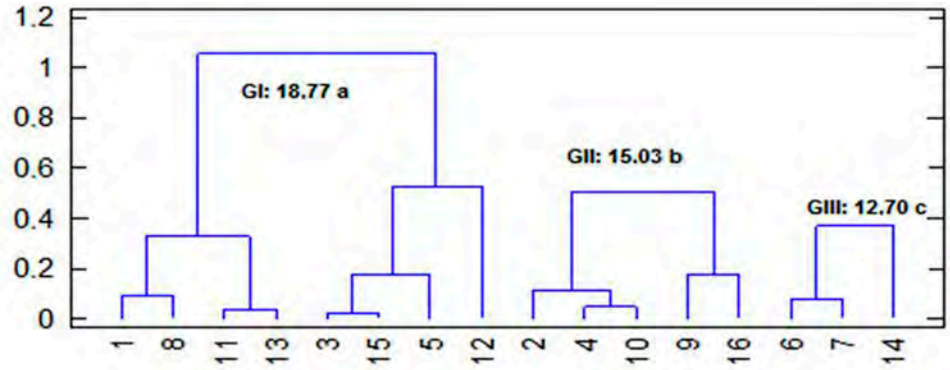
INICA-Cienfuegos. Localidad de Espartaco

Los resultados del Análisis de varianza (tabla 3) arrojaron diferencias significativas para las tres variables analizadas, lo que reflejó el comportamiento diferencial entre los cultivares. La figura 5 expresa la formación de tres grupos bien diferenciados: el grupo I fue el de mayor producción de azúcar por área, pues los cultivares C10-160; C09-154; C09-155 y C10-163 lograron resultados comparables con las variedades comerciales C323-68; C92-325 y C90-469. El grupo II, segundo de mayor t pol ha^{-1}, integrado por genotipos como: C86-12; C97-445 y C95-416 y las nuevas variedades C10-157 y C09-152, evidencia el potencial de estas.

Tabla 3. Análisis de varianza en las variables estudiadas. Cienfuegos

F. Variación	G.L	TCH C. Medios	Sign	PPC C. Medios	Sign	TPH C. Medios	Sign
Cultivares	15	794.97	**	0.90	*	20.41	**
Error	32	85.52		0.41		2.91	
X ± ES		100.14±5.34		16.46±0.37		16.47±1.0	

GL: Grados de Libertad, C. Medios: Cuadrados Medios, TCH: Toneladas de caña por hectáreas;
PPC: Porcentaje de pol en caña, TPH: Toneladas de pol por hectáreas; Sign: significación estadística;
NS: no significativo estadísticamente; **: Significación estadística al 1 % de probabilidad.



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

Figura 5. Resultados de los cultivares evaluados en la variable t pol ha-[1].

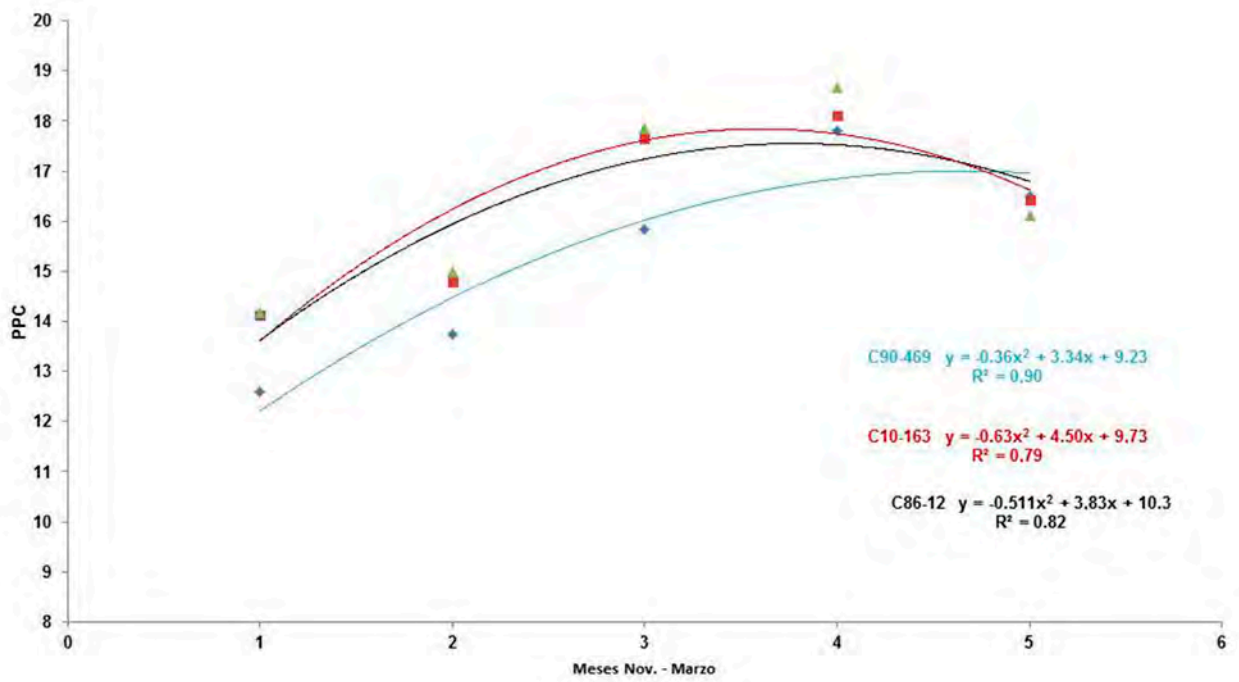


Figura 6. Curvas de madurez de la C10-163 comparado con las C86-12 y C90-469.

Los resultados de las Curvas de madurez de las variedades C10-157; C09-152 y C09-155 aparecen en las figuras 3 y 4. La figura 6 reveló los resultados de la C10-163 comparada con la C86-12 y C90-469 (Variedades principales en Cuba), en la que se apreció que C10-163 tuvo un comportamiento superior a la C90-469 y similar a la C86-12.

La C10-160 se comportó inferior a la C90-469, en los meses de febrero y marzo, no así en el período inicial de zafra en el que sus resultados fueron comparables (figura 7).

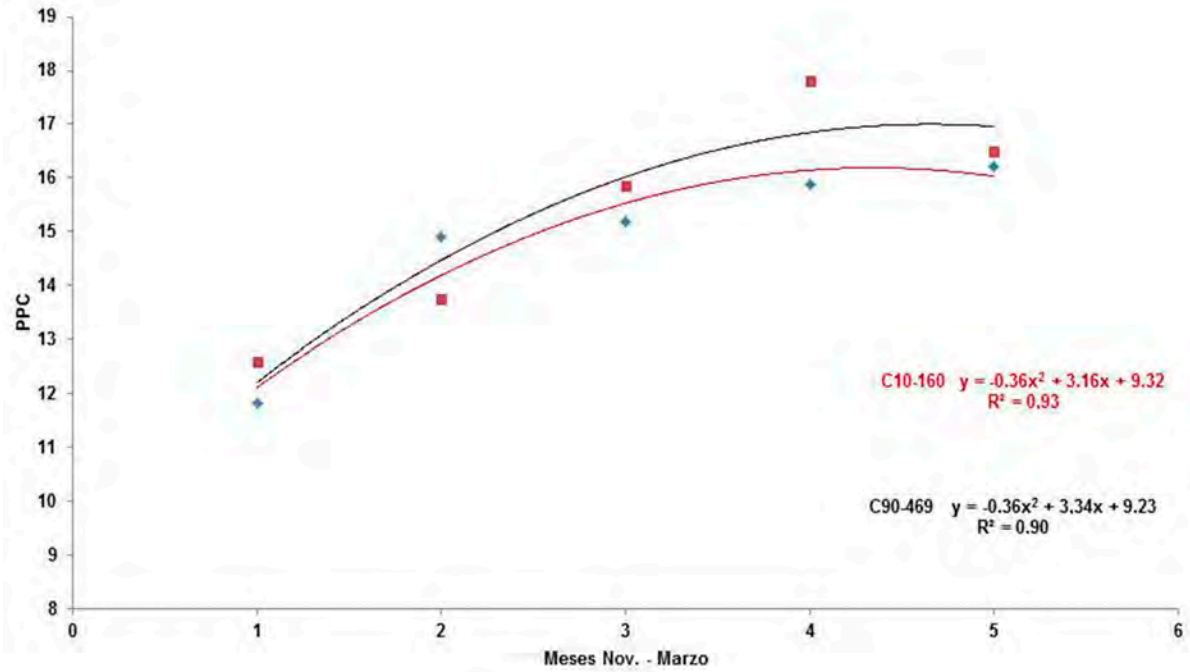


Figura 7. Curvas de madurez de la C10-160, comparado con la C90-469.

Los resultados de la C09-154 para el porcentaje de pol en caña, fueron ligeramente inferiores a la C323-68, en el período entre noviembre y febrero (figura 8). Esta variedad es de maduración intermedia, al igual que el testigo utilizado para la comparación de la madurez, tiene como limitante que en las pruebas de resistencia a las enfermedades realizadas en el INICA-Matanzas (Jovellanos) se comportó moderadamente susceptible al Carbón y susceptible a la Escaldadura foliar (anexo 1).

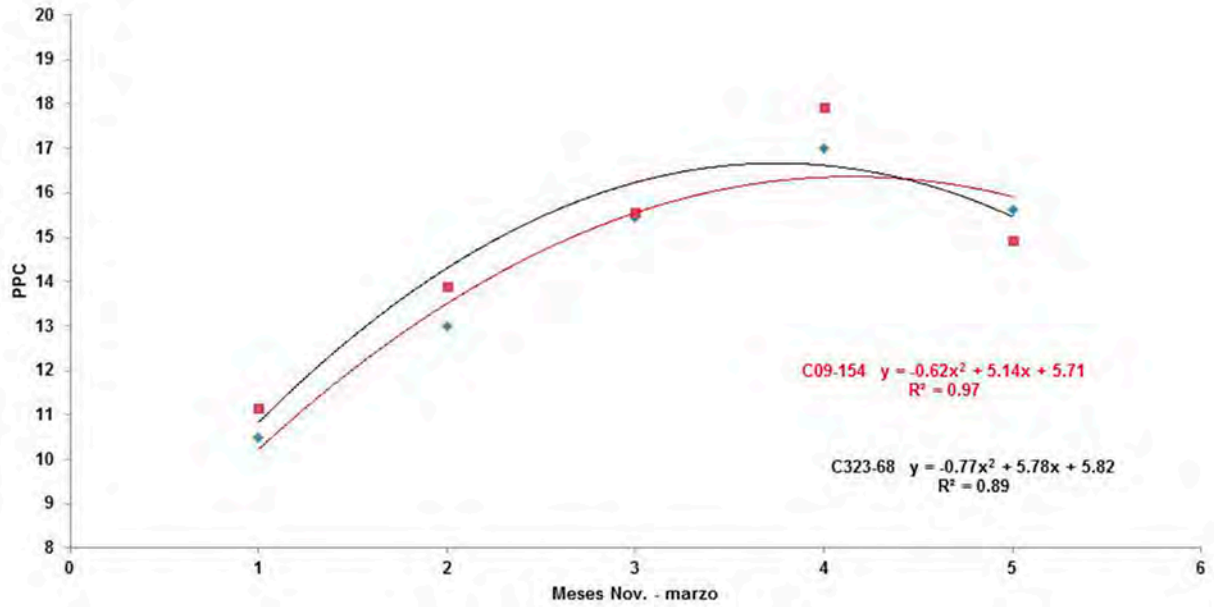


Figura 8. Curvas de madurez de la C09-154, comparada con la C323-68.

INICA-Villa Clara. Localidad Bloque Experimental de Sagua

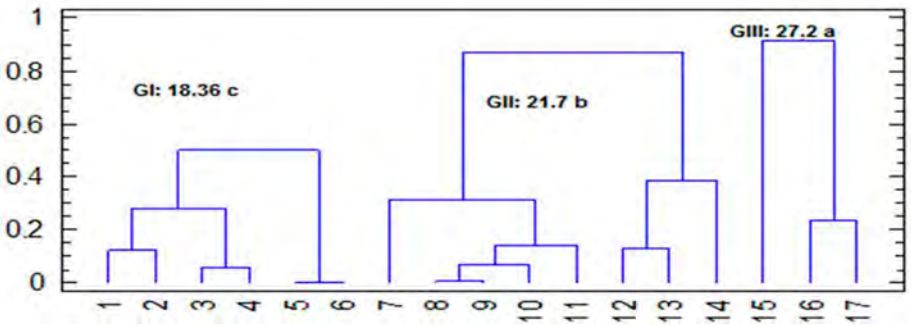
En el Análisis de varianza se obtuvieron diferencias significativas en las tres variables estudiadas lo que reafirma, al igual que en Cienfuegos, la respuesta disímil de los cultivares.

El análisis de agrupamiento (figura 9) mostró que los mejores resultados lo alcanzaron, en el grupo III, las variedades C86-156; C95-416 y B80250. El grupo II, con producción intermedia, lo integraron tres variedades comerciales (C86-12; C90-469 y C97-445), una en desarrollo (C98-357) y cuatro en estudio (C09-152; C10-160; C10-157 y C09-154).

Tabla 4. Análisis de varianza en las variables estudiadas. Villa Clara

F. Variación	G.L	TCH C. Medios	Sign	PPC C. Medios	Sign	TPH C. Medios	Sign
Cultivares	16	904.51	**	2.92	**	32.11	**
Error	34	320.61		0.29		7.69	
X ± ES		135.53±10.3		15.72±0.29		21.48±1.6	

GL: Grados de Libertad, C. Medios: Cuadrados Medios, TCH: Toneladas de caña por hectáreas; PPC: Porcentaje de pol en caña, TPH: Toneladas de pol por hectáreas; Sign: Significación estadística;
NS: No significativo estadísticamente; **: Significación estadística al 1 % de probabilidad.



Casos	Cultivares	Grupo	Casos	Cultivares	Grupo	Casos	Cultivares	Grupo
1	C09-155	I	7	C98-357	II	15	C86-156	III
2	C10-171	I	8	C09-152	II	16	B80250	III
3	C10-166	I	9	C97-445	II	17	C95-416	III
4	C323-68	I	10	C10-160	II			
5	C10-163	I	11	C90-469	II			
6	C92-325	I	12	C10-157	II			
			13	C09-154	II			
			14	C86-12	II			

Figura 9. Resultados de los cultivares evaluados en la variable t pol ha-1.

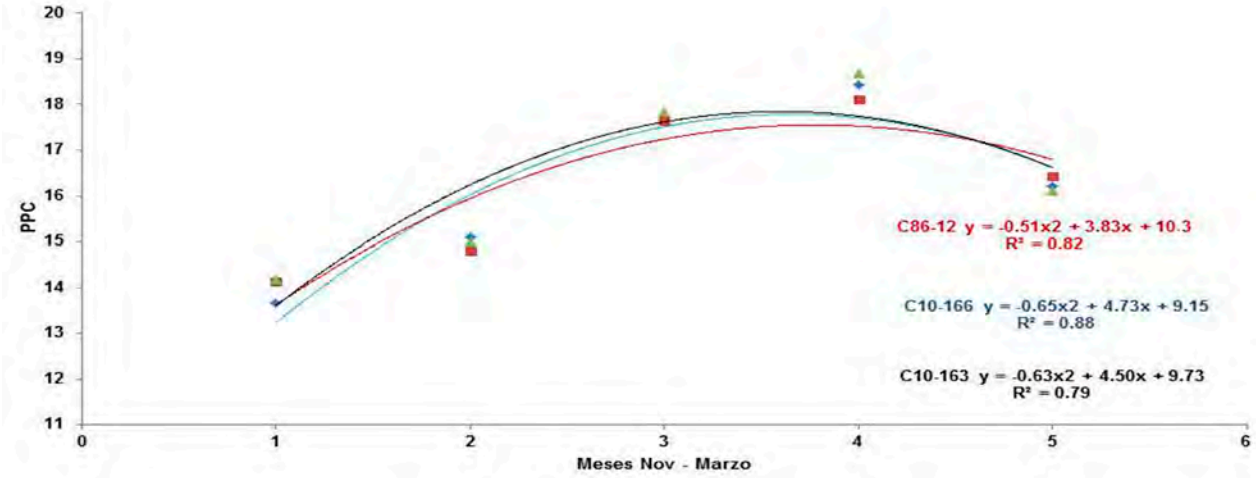


Figura 10. Curvas de madurez de la C10-166, comparadas con la C86-12 y C10-163.

De las ocho nuevas variedades en estudio solo la C10-166 no se destacó en ninguna de las localidades estudiadas; sin embargo, su contenido de azúcar es similar a la C86-12 y C10-163 (figura 10), además de su resistencia o tolerancia a las enfermedades, por lo que puede ser un cultivar de interés para el mejoramiento, por sus características favorables.

CONCLUSIONES

1. Los cultivares de mejor comportamiento en la variable t pol ha^{-1} y resistentes o tolerantes a las principales enfermedades fueron: C10-157 y C09-152 en las tres localidades de estudio, C09-155 en los sitios de pruebas de Matanzas y Cienfuegos, C10-160 en Cienfuegos y Villa Clara, C10-171 en Matanzas y C10-163 en Cienfuegos.
2. Las nuevas variedades C10-163 y C10-166 mostraron un contenido de azúcar similar a la C86-12 (Principal variedad en producción en Cuba) y mostraron resistencia a las principales patologías

RECOMENDACIONES

- Programar nuevamente los muestreos finales de cosecha en los laboratorios de las EAA de Jesús Rabí, Ifrain Alfonso y Héctor Rodríguez.
- Establecer Bancos de semilla de los cultivares destacados y tolerantes o resistentes a las enfermedades, en los BSB de Matanzas, Cienfuegos, Villa Clara y Sancti Spiritus, con el propósito de entregar semilla a todas las unidades empresariales de base del INICA y bancos de semilla registrados.
- Continuar la evaluación de los ensayos en retoño, que es la cepa más importante, para la toma de decisiones en los tres sitios de pruebas y en las localidades donde se desarrollan los Bancos de madurez (Sancti Spiritus y Sagua la Grande).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Rodríguez R. 2012. Perfeccionamiento del Programa de Mejora Genética de la caña de azúcar (*Saccharum spp.)* para la obtención de nuevos genotipos tolerantes al estrés por déficit hídrico. Tesis presentada en Opción al Grado Científico de Dr. en Ciencias Agrícolas. INICA, La Habana, Cuba. 100 p.
2. Gordon, M., Camargo, B.; Franco, B. y González, S. 2006. Evaluación de la adaptabilidad y estabilidad de 14 híbridos de maíz, Azuero, Panamá. Agronomía Mesoamericana, 17 (2): 189-199.
3. García H. 2007. Fitomejoramiento Participativo en caña de azúcar, complementación necesaria de la mejora convencional. Propuesta de Proyecto de Investigación. La Habana, ETICA Villa Clara – Cienfuegos. INICA. Ministerio del Azúcar, 30 p.
4. Jorge H, Jorge Ibis y Bernal N. (Editores). 2010. Catálogo. Nuevas Variedades de Caña de Azúcar. La Habana, Cuba. INICA. 100 p.
5. Hernández, A., J.M Pérez, D. Bosch y N. Castro. (2015). Clasificación de los suelos de Cuba: Instituto de Suelos. La Habana, Cuba, INCA, 92 pp.
6. Jorge H, Jorge Ibis, Mesa JM y Bernal N (2011) Normas y Procedimientos del Programa de Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar en Cuba. PUBLINICA, La Habana 320 p.

7. INICA. 2022. Taller Nacional de Variedades, Semilla y Sanidad Vegetal. Cienfuegos. Cuba. 91 p.
8. Martins, A. L. M y Landell, G. A. (1995). Conceitos e critérios para avaliação experimental em cana-deaçúcar utilizados no programa Cana IAC. Pindorama: Instituto Agronômico: p. 2-14.

Anexo 1. Reacción de los nuevos cultivares a las Pruebas de resistencia realizadas en la UEB INICA-Matanzas (Jovellanos)

Cultivares	Carbón	VMCA	Escaldadura Foliar	Roya
C10-160	Inmune	Inmune	Muy Resistente	A. Resistente
C10-157	Inmune	Inmune	Resistente	A. Resistente
C10-171	Inmune	Inmune	Resistente	A. Resistente
C09-152	Inmune	Inmune	Muy Resistente	A. Resistente
C09-155	Inmune	Inmune	Muy Resistente	Intermedia
C10-163	Muy Resistente	Inmune	Resistente	A. Resistente
C10-166	Intermedia	Inmune	Resistente	A. Resistente
C09-154	**Moderadamente Susceptible**	Inmune	**Susceptible**	Resistente
C86-12	Intermedia	Intermedia	Intermedia	Resistente
C90-469	Resistente	Intermedia	Resistente	Intermedia
C323-68	**Muy Altamente Susceptible**	Resistente	**Susceptible**	**Altamente Susceptible**
C86-156	Resistente	Intermedia	**Altamente Susceptible**	**Susceptible**
C92-325	Resistente	Resistente	**Susceptible**	Resistente
C95-416	Resistente	Intermedia	Resistente	Resistente
C97-445	Resistente	Intermedia	Resistente	Resistente
C98-357	Resistente	Resistente	Resistente	Resistente
B80250	**Muy Altamente Susceptible**	**Altamente Susceptible**	**Altamente Susceptible**	Intermedia

Diversificación de la industria azucarera y bioeconomía circular: las rutas de la energía

Raúl Sabadí-Díaz*
Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA).
Vía Banca, No. 804 y Carretera Central, San Miguel del Padrón. La Habana, Cuba.
* raul.sabadi@icidca.azcuba.cu

RESUMEN

La diversificación, a partir de la caña de azúcar, con esquemas flexibles de producción, es una alternativa económica inevitable si se busca competitividad; en ella deben estar presentes las opciones para generar energía, a partir de fuentes renovables. Esta responde también al concepto de bioeconomía circular, al hacerse un uso útil de todos los subproductos y residuos que producen, al mismo tiempo, insumos o utilidades de diversos tipos, que regresan al proceso, como la electricidad y el agua para reducir impactos negativos sobre el medio ambiente. Entre las nuevas alternativas energéticas el etanol 2G y el biogás parecen ser las mejores opciones. Aunque aún no es un resultado económicamente factible, se continúa trabajando con fuerza en los aspectos que limitan el desarrollo del biohidrógeno a partir del bagazo y las coproducciones pueden ser también una alternativa. Definitivamente existe un compromiso entre la factibilidad económica y el impacto ambiental que puede hacer difícil la toma de decisiones. La integración de procesos bajo denominaciones de biorrefinería, planta híbrida o parque bioenergético es la mejor solución aunque no es única y responderá al mercado, con el uso de otros recursos no derivados de la caña de azúcar y otras fuentes renovables de energía.
Palabras clave: agroindustria azucarera, diversificación, bioeconomía circular, energía, biorrefinería.

ABSTRACT

Diversification from sugarcane with flexible production schemes is an unavoidable economic alternative if we are looking for competitiveness, and options to generate energy from renewable sources must be present. This also responds to the concept of circular bio-economy by making useful use of all by-products and waste, which simultaneously produce inputs or utilities of various types that return to the process, such as electricity and water, reducing negative impacts on the environment. Among the new energy alternatives, 2G ethanol and biogas seem to be the best options. Although it is not yet an economically feasible result, work continues on the aspects that limit the development of bio-hydrogen from bagasse and co-productions may be an alternative. There is definitely a trade-off between economic feasibility and environmental impact, which can make decision making difficult. The integration of processes, under the names of bio-refinery, hybrid plant or bioenergy park, is the best solution, which is not unique and will respond to the market, integrating the use of other resources not derived from sugar cane and other renewable sources of energy.
Key words: sugarcane agroindustry, diversification, circular bio-economy, energy, bio-refinery.

INTRODUCCIÓN

La economía circular es una forma de producción y consumo, que va más allá de las tradicionales “tres R” (reducir, reutilizar y reciclar) y añade a su modelo conceptos como: compartir, alquilar, reparar y renovar los productos y sus materiales, tantas veces como sea necesario, en un intento por hacer frente a una economía lineal que ha arrasado con los ecosistemas y el medio ambiente hasta el límite (1). Se añade el prefijo bio para indicar el carácter renovable deseado en su concepción.

La diversificación de la agroindustria de la caña de azúcar ha sido motivo de atención de investigadores y productores, en el afán de buscar mayores niveles de eficiencia en la economía de la agricultura y las industrias, debido a la gran cantidad de productos y subproductos que el procesamiento de esta gramínea genera y sus potencialidades. De hecho, en muchos casos, ya el concepto de bioeconomía circular ha estado presente en la diversificación desde sus inicios.

La transición energética a fuentes renovables se está acelerando, ante el incremento de la demanda, la necesidad de reducir emisiones de gases y el imperativo de lograr producciones sostenibles. Y, en esencia, es un alejamiento de la quema de combustibles fósiles a un sistema que utiliza una gama mucho más amplia de materias primas y fuentes alternativas, para satisfacer nuestras necesidades energéticas. La economía circular debe integrarse a la transición energética por diseño (2), para garantizar que el mundo tenga un suministro sostenible de energía. Esto requerirá una acción concertada de las entidades de investigación, las empresas y los reguladores (3). En este trabajo se exponen rutas energéticas que deben tenerse en cuenta, para que la diversificación en la agroindustria de la caña de azúcar sea considerada como un caso típico e imprescindible de bioeconomía circular, en particular para la generación de energía de fuentes renovables.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realiza un análisis de la literatura más reciente sobre las alternativas energéticas que se pueden implementar, a partir del uso de los derivados de la caña. También se realiza un estudio semejante para la economía circular, en particular lo asociado al tema energético, para establecer el vínculo con la diversificación en la industria de la caña de azúcar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 1 se muestra una representación de las alternativas de diversificación de la caña de azúcar, orientadas a la energía, a partir del uso de los subproductos de la cosecha agrícola y el procesamiento industrial. En este esquema solo se han considerado las fuentes propias de esta agroindustria; pero otras fuentes de materias primas para producción de energía que existan en la zona objeto de estudio podrían ser consideradas como complemento, siempre que la economía global del sistema sea factible. Nótese que la electricidad retorna al proceso industrial y cierra un ciclo típico de economía circular.

A continuación se describen los destinos energéticos de los subproductos agroindustriales. En estas rutas se han incluido los usos más extendidos y otros que son más novedosos; incluso, aún no totalmente logrados; pero ya reportados (4). También se hace una valoración de los esquemas integrados de producción a partir de la caña, que pueden denominarse según conceptos que se abordan actualmente.

Residuos de la cosecha (paja)

Mezclar la paja con bagazo para generar vapor y después electricidad es lo más común. En esta mezcla, por la presencia de sílice y lignina, hay límites en cuanto a la inclusión de la paja, que pueden variar en función del tipo de caldera de vapor que se utilice. Se ha explorado también la producción de etanol de segunda generación (2G); es decir, el que se obtiene a partir de residuos lignocelulósicos, con mezclas de bagazo y paja (5, 6), para maximizar la paja para combustible en las calderas y destinar mayor cantidad de bagazo a la producción del etanol 2G (7).

En la India existe una experiencia en la elaboración de carbón, a partir de la paja en forma de briquetas y su uso como combustible en cocinas desarrolladas con ese propósito, lo que contribuye

a reducir la deforestación y resultan factibles económicamente para resolver demandas locales (8, 9, 10).

Bagazo

El uso más directo y extendido es ya energético de por sí, por su quema directa en calderas para la generación de vapor y, a partir de este, la generación de electricidad en turbinas. Pero hay otras alternativas energéticas menos utilizadas o, en estudio, en diferentes momentos de desarrollo. A continuación se describen las más relevantes:

1. Bioetanol "de segunda generación" (2G): de este tipo, a partir de diferentes residuos ya existen, al menos, cuatro plantas de producción que operan comercialmente; dos en Brasil, a partir de bagazo (11), una en Noruega y otra en Estados Unidos. En construcción hay dos instalaciones en Rumania y Estados Unidos. En fase de diseño hay otras cuatro en Estados Unidos, China, Finlandia y Eslovaquia (12). Con relación al bagazo se sigue trabajando en el estudio de cuatro rutas de producción de etanol, a partir de bagazo tratado (13). Para el tratamiento se ha trabajado en métodos físicos, químicos, físico-químicos y biológicos, con mayor presencia del uso de ácidos diluidos, álcalis y vapor (14). El rendimiento teórico es alrededor de 300 litros de etanol por tonelada de bagazo (5) y se informan valores entre 157 y 225 reportados (15); es decir, de 0.48 g/g, 94 % del rendimiento teórico (16).
   Instalar una planta de producción de etanol 2G, en un sitio industrial donde existe un central azucarero y una destilería de etanol tradicional significa incrementar en un 50 % la producción de etanol, con la misma cantidad de caña molida.

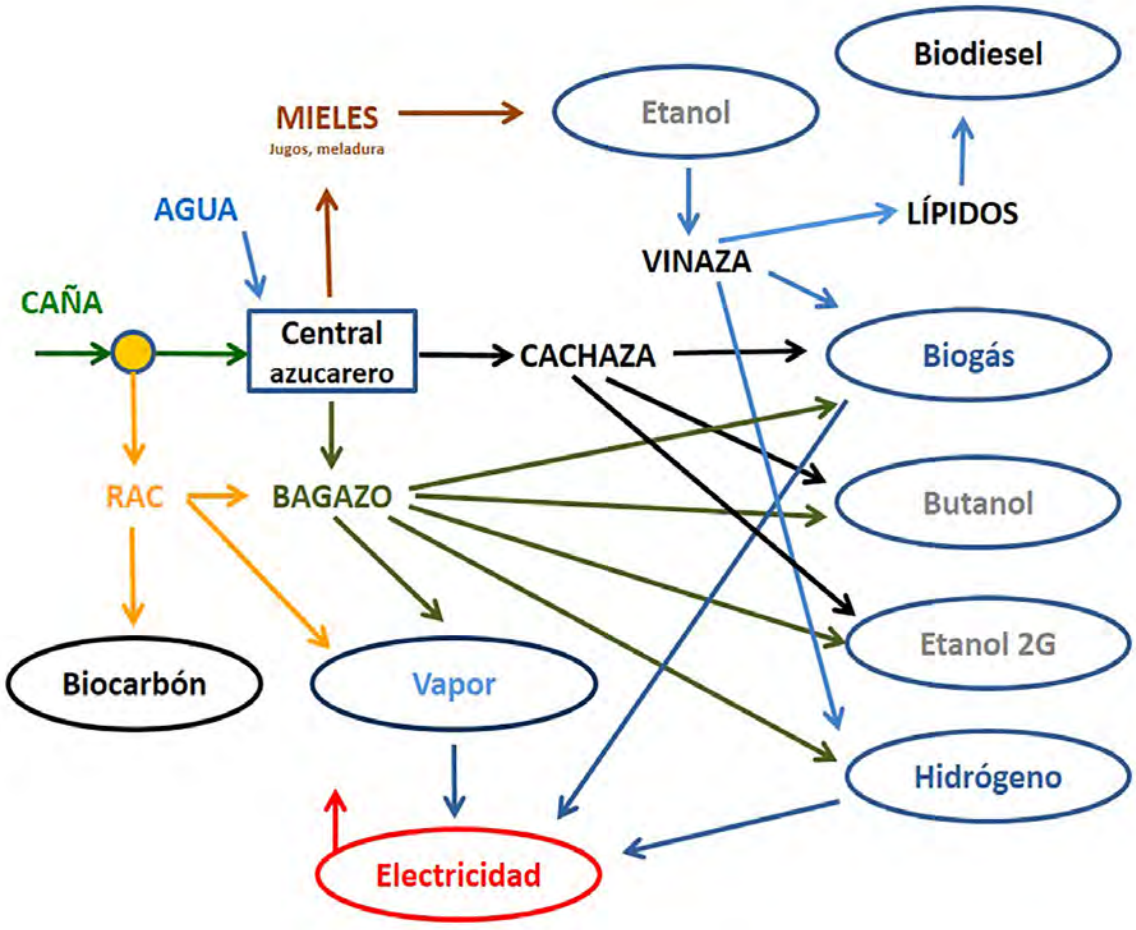


Figura 1. Las rutas de la energía en la diversificación de la caña de azúcar.
Fuente: Elaboración propia.

2. Biobutanol: a pesar de su atractivo como biocombustible líquido, el bajo rendimiento en su producción, a partir del bagazo, es una preocupación no resuelta, con el método de fermentación ABE (acetona-butanol-etanol). Se informan rendimientos de 0.08 a 0.29 g/g, en dependencia del método de pretratamiento, de la fracción usada de celulosa o hemicelulosa y de la cepa utilizada (17, 18). Trabajos recientes utilizan la introducción de hidrolizados de hemicelulosa del bagazo en fermentaciones con mieles de caña, en modo fed-batch (19), se informa que es una estrategia eficiente sin necesidad de tratamiento previo y suplementación de nutrientes, que puede mejorar la economía de una biorrefinería de caña de azúcar que produce butanol, a partir de hemicelulosa de bagazo, también confirmado en otra publicación por (20), aunque aún con rendimiento de 0.28 g/g.
3. Biohidrógeno: las bajas eficiencias de conversión, la falta de buenos diseños de biorreactores y lo caro de los sistemas de purificación y almacenamiento son factores en contra de la producción de hidrógeno, a partir del bagazo (21 - 23). Se continúan estudios en este sentido que abordan diferentes aspectos como: los pretratamientos (24), estrategias de fermentación (25) y optimización de parámetros para lograr eficiencias, en el rango de 55 a 93 mL/g de sólidos volátiles (26). En cuanto al proceso, se usa mayormente la fermentación oscura, que tiene inconvenientes por los efluentes que genera. Se prefiere, entonces, un sistema híbrido que añada una segunda etapa de tratamiento de ese efluente, por ejemplo una fotofermentación (27), para incrementar el rendimiento y la eficiencia. Trabajos recientes abordan el uso de enzimas tratadas con nanopartículas de magnetita para incrementar su actividad que reportan mejoras en la hidrólisis del bagazo e incremento en la producción de hidrógeno (28). Por otra parte, es importante la aplicación de enfoques integradores, como el concepto de biorrefinería, para lograr la viabilidad económica de estos procesos. Por ejemplo, la integración de la producción de hidrógeno con la de biogás y la utilización de los residuos de la producción para otros biocombustibles (29).
4. Biogás: los estudios para la producción de biogás, a partir del bagazo, se han centrado en los pretratamientos y procesos de recuperación, se han informado incrementos de rendimientos entre 122.3 y 480 mL/g de sólidos volátiles (26, 30). Se han reportado estudios sobre la producción de biogás junto con la producción de etanol o hidrógeno (26, 31, 32). En Cuba se trabaja en un proyecto de innovación (33) con el propósito de producir biogás, a partir de mezcla de diferentes sustratos originados por un central azucarero y su destilería anexa.
5. Coproducciones: se han desarrollado procesos, aún no establecidos industrialmente, para la producción de más de un biocombustible de conjunto. En este trabajo se mencionan sólo tres; pero hay otros.Se reportan estudios para la obtención de mezcla (IBE) de isopropanol, butanol y etanol 2G, como combustible líquido automotor en un proceso (figura 2), que utiliza fermentación continua y especies de *Clostridium* modificadas genéticamente. Aunque la producción de etanol 2G, es ligeramente más ventajosa en una biorrefinería, a partir de caña de azúcar, que IBE en términos de eficiencia energética e ingresos, esta mezcla tiene mayor densidad energética que el etanol solo, por lo que puede ser preferida por los choferes y alcanzar mayores ventas (34).

   Otro caso de coproducción de biocombustibles es la producción de hidrógeno y ABE (acetona, butanol, etanol), a partir de hidrolizados de bagazo y paja de arroz (35), en el mismo proceso de fermentación oscura, que usa al mismo tiempo *Enterobacter aerogenes* y *Clostridium acetobutylicum* (figura 3). Se obtiene un resultado 3.4 veces mayor en el rendimiento de hidrógeno, a partir de bagazo y 1.5 veces mayor en el caso de la producción de ABE, a partir de la paja de arroz, que cuando se realizan los procesos por separado.

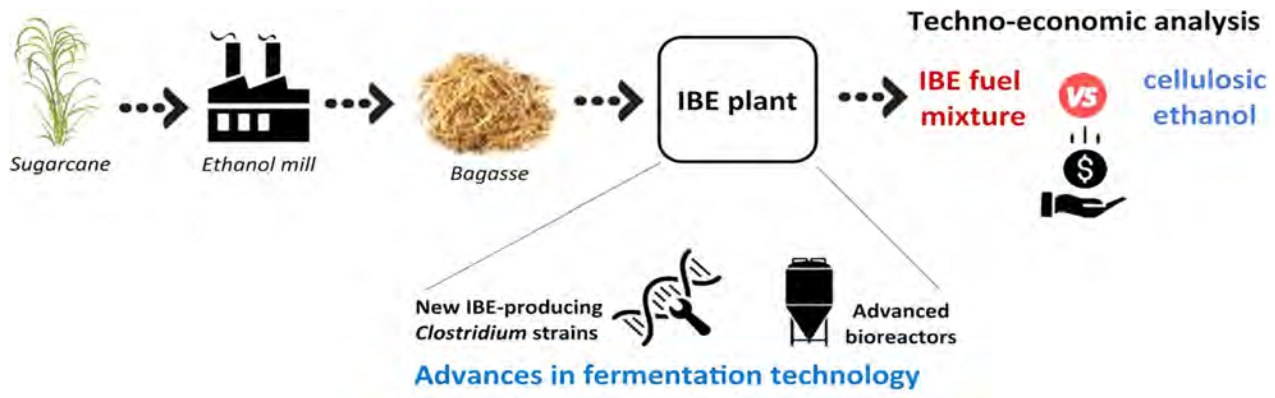


Figura 2. Producción de IBE. Dantas *et al.* (34).

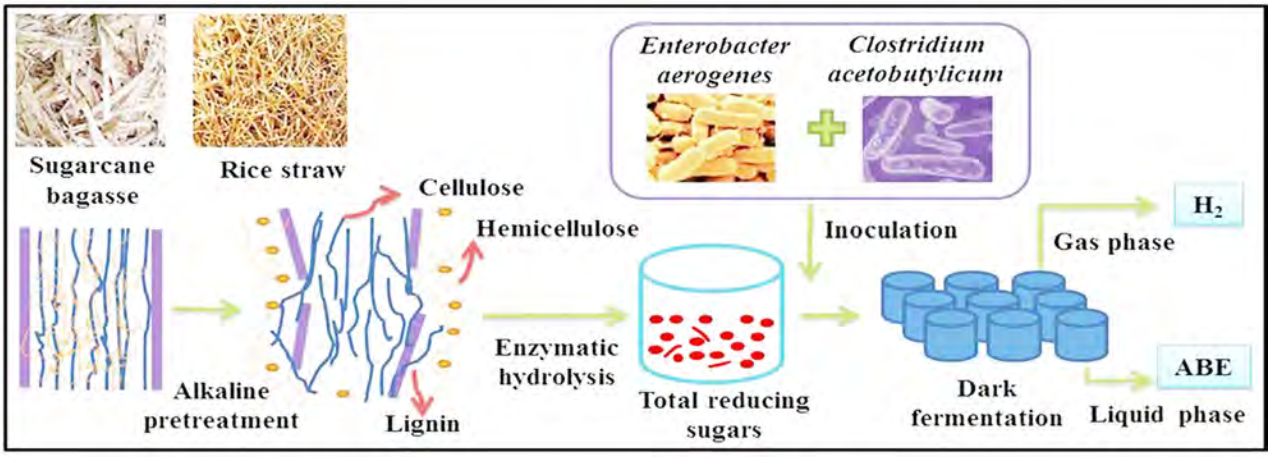


Figura 3. Producción de biohidrógeno y ABE. Tondro *et al*. 2020 (35).

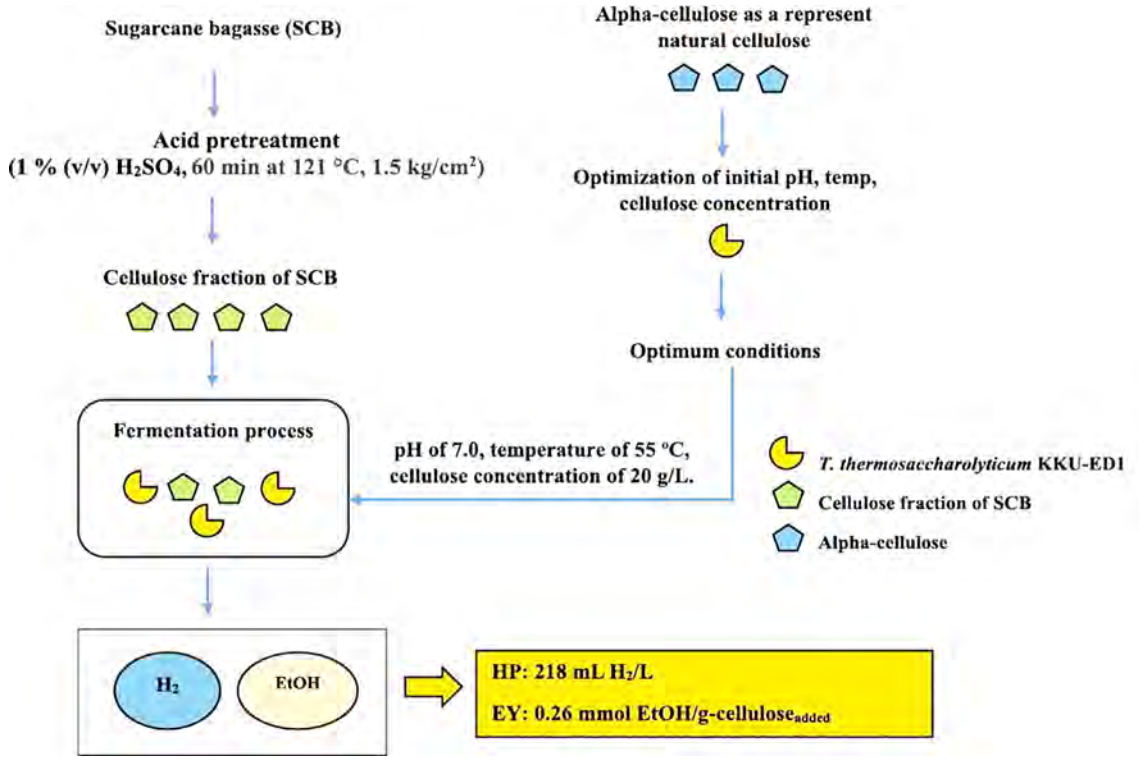


Figura 4. Producción de biohidrógeno y etanol. Saripan *et al.* 2021 (36).

Saripan *et al.* (36) evalúan la coproducción de hidrógeno y etanol a partir de fracciones de celulosa del bagazo con *Thermoanaerobacterium thermosaccharolyticum* KKU-ED1 en fermentación por lotes (figura 4). Concluyen que esta bacteria celulolítica termofílica es capaz de realizar esta producción combinada.

Mieles

Las mieles de caña, como los jugos o la meladura, son la materia prima para la producción de etanol, llamado de primera generación; es decir, producido a partir de corrientes líquidas de materiales azucarados. Sobre este producto, las tecnologías son conocidas y probadas y se han ido mejorando en busca de mejores eficiencias. La literatura es muy amplia, así como la experiencia de producción y, por ello, no se aborda en este trabajo. En Cuba, a partir de la existencia de caña no apropiada para producir azúcar con buen rendimiento, en algunos centrales azucareros se ha decidido molerla para producir meladura con destino a las destilerías. Esta es una opción que puede también usarse como estrategia al inicio y final de la zafra, cuando la madurez de la caña y su contenido de azúcares son bajos.

Cachaza

Se reporta su uso para producir biocombustibles como etanol (37), butanol (38) y biogás (39). Srivastava *et al.* (28) reportan incrementos en la producción de biogás por digestión anaerobia de cachaza, con la utilización de un nanocatalizador de óxidos de cobre, preparado con un extracto acuoso de cachaza y bagazo.

Se trabaja la codigestión anaerobia de cachaza y bagazo pretratados térmicamente, para producir biogás con mejores rendimientos que por separado y con otros tratamientos, en los que prevalece el camino de la metanogénesis (40).

Vinazas

Las vinazas son el residuo de la producción de etanol. Se han publicado trabajos de fermentación anaeróbica de la vinaza para producir biogás (41) y su análisis de factibilidad económica, existe una experiencia industrial de producción en Cuba, desde hace varios años, en la empresa azucarera Heriberto Duquesne, donde se produce biogás a partir de las vinazas de la destilería anexa al central azucarero, con uso de reactores de tipo UASB. El proyecto mencionado (33) prevé su uso.

También se informa sobre la producción de lípidos para biodiesel, con el uso de microalgas y levaduras (42) e hidrógeno (43).

Biorrefinerías

La conjunción de varias de las rutas de la energía mencionadas, en un mismo sitio industrial, constituye una biorrefinería, que puede incluir, además, productos químicos, a partir de la caña de azúcar como materia prima inicial y son ejemplos típicos de bioeconomía circular.

Se han reportado recientemente resultados de análisis de este tipo de instalaciones industriales, entre ellos Chatterjee y Venkata (44) estudian la producción simultánea de hidrógeno y etanol, en una biorrefinería con un diseño de economía circular, con máxima recuperación y sin descarga de efluentes.

De Freitas *et al.* (45) estudian biorrefinerías a partir de caña de azúcar y su transformación en sistemas que integren la industria y las plantaciones, como generadores de bioenergía, que incluya captura y almacenamiento de carbono.

Katakojwala y Venkata (46) proponen una biorefinería que produzca nanocelulosa, lignina e hidrógeno a partir del bagazo, que realice su análisis de ciclo de vida, que estime un impacto sobre

el medio ambiente 30 % menor, sin descargas de líquidos, que al realizar las producciones por separado.

¿Plantas híbridas o parques bioenergéticos?

El concepto de planta híbrida se refiere usualmente a la integración de dos fuentes renovables, para generación de energía eléctrica, la solar fotovoltaica y la eólica, en una instalación productiva. En las industrias de la caña de azúcar este concepto se puede extender con la inclusión de la biomasa como fuente renovable principal con la utilización de las alternativas energéticas mencionadas. En la figura 1 se podría, entonces, incluir un parque fotovoltaico que aporte electricidad al sitio industrial. De hecho, ya existen experiencias en Brasil que han denominado como parques bioenergéticos.

El Grupo Raizen, de Sao Paulo, ha apostado por un desarrollo basado en recursos renovables y economía circular (11, 47). Es el mayor productor mundial de etanol 1G y 2G (hidratado, anhidro y neutro), a partir de la caña. Producen etanol 2G desde 2019 en la planta de la fábrica Costa Pinto en Piracicaba, con más de 80 millones de litros exportados. Cerca de esta planta han instalado, en un área de 40 mil m^2, un parque fotovoltaico con capacidad para generar 1.3 MWp. Tienen otros seis parques de este tipo en operación; poseen 23 parques bioenergéticos que son autosuficientes en el consumo de electricidad y, 13 de ellos, exportan a la red pública.

Junto al central azucarero, que muele cinco millones de toneladas de caña al año y la destilería de Bonfim, tienen una planta de biogás en operación en Guariba, a partir de cachaza y vinaza, que utilizan para generar electricidad (capacidad instalada de 21 MW) y producir biometano, gas derivado del biogás, que se usa como sustituto de combustible para vehículos pesados. Su intención es llegar a producir dos millones de Nm^3 por día. De conjunto con la empresa japonesa Sumitomo, producen y comercializan pellets de paja y bagazo, con una capacidad de producción anual de 100 mil toneladas en la planta Diamante, con destino a la sustitución de carbón, en generadores europeos de electricidad.

En resumen, operan en un sistema de economía circular, que aprovecha todos los residuos e insumos utilizados en los procesos para la generación de nuevas formas de energía, para contribuir directamente con el medio ambiente y generar menos residuos industriales y con productos sostenibles que ayudan a limpiar la matriz energética.

CONCLUSIONES

La diversificación, a través de la utilización integral de la caña de azúcar con esquemas flexibles de producción, ya sea biorrefinería, planta híbrida o parque bioenergético, es una alternativa económica inevitable que busca competitividad y en ella deben estar presentes las rutas de la energía en algunas de las variantes mencionadas.

Sin dudas, este concepto de diversificación responde también al concepto de bioeconomía circular, al hacerse un uso útil de todos los subproductos y residuos que se generan y retornan al proceso, a su vez, como insumos o utilidades de diversos tipos, como la electricidad y el agua, con reducción del impacto negativo sobre el medio ambiente.

Entre las nuevas alternativas, el etanol 2G y el biogás parecen ser las mejores opciones con varias plantas en funcionamiento o construcción.

Aunque aún no es un resultado económicamente factible, se continúa trabajando con fuerza en varios enfoques, para el desarrollo del biohidrógeno, a partir del bagazo.

No existe una solución única para el diseño de estos parques bioenergéticos, que responda a demandas locales y pueda integrar el uso de otros recursos no derivados de la caña de azúcar y

otras fuentes renovables de energía. Definitivamente existe un compromiso entre la factibilidad económica y el impacto ambiental, lo que hace difícil la toma de decisiones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. García Gil, K. (2021). Advantages and disadvantages of the circular economy. https://www.bbva.ch/en/news/advantages-and-disadvantages-of-the-circular-economy/. Consultado 25/5/2022.
2. Ollagnier, J. (2020). View From Davos: What's The Role of Electricity In The 'Circular' Economy? Consultado 30/3/2022. https://www.forbes.com/sites/jeanmarcollagnier/2020/01/21/whats-the-role-of-electricity-in-the-circular-economy/?sh=66a4b0f220d7
3. Pennington, J. (2022). 3 ways the circular economy is vital for the energy transition. https://www.greenbiz.com/article/3-ways-circular-economy-vital-energy-transition/. Consultado 30/3/2022.
4. Meghana, M. and Shastri, Y. (2020). Sustainable valorization of sugar industry waste: status, opportunities, and challenges. Bioresource Technology 303. Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122929. Consultado 2/6/2022.
5. Chandel, A.K. et al. (2012). Sugarcane bagasse and leaves: foreseeable biomass of biofuel and bio-products. J. Chem. Technol. Biotechnol. 87, 11–20.
6. Krishnan, C. et al. (2010). Alkali based AFEX pretreatment for the conversion of sugarcane bagasse and cane leaf residues to ethanol. Biotechnol. Bioeng. 107, 441–450.
7. Vikash, P.V., Mandade, P.V., Shastri, Y. (2018). Assessment of bagasse and trash utilization for ethanol production: a case study in India. Environ. Prog. Sustain. Energy 37, 2165–2174.
8. ARTI (2010). Briquetted Charcoal from Sugarcane Trash 51–53. http://www.arti-india.org/. Consultado 25/5/2022.
9. Balakrishnan, M., Batra, V.S. (2011). Valorization of solid waste in sugar factories with possible applications in India: a review. J. Environ. Manag. 92, 2886–2891.
10. Bhatnagar, A., Kesari, K.K., Shurpali, N. (2016). Multidisciplinary approaches to handling wastes in sugar industries. Water Air. Soil Pollut. 227, 11.
11. Reuters (2021). https://www.reuters.com/business/energy/brazils-razen-build-second-cellulosic-ethanol-plant-filing-2021-06-25/ Consultado 30/3/2022.
12. Padella, M., O'Connell, A., Prussi, M. (2019). What is still limiting the deployment of cellulosic ethanol? Analysis of the current status of the sector. Appl. Sci. 9.
13. Govind, M., Shastri, Y.S. (2019). Biofuels Life Cycle Assessment Based Comparison of Different Lignocellulosic Ethanol Production Routes Production Routes. Biofuels in Press.
14. Sarker, T.C., Azam, S.M.G.G., Bonanomi, G. (2017). Recent advances in sugarcane industry solid by-products valorization. Waste Biomass Valorization 8, 241–266.
15. Nakanishi, S.C. et al. (2017). Fermentation strategy for second generation ethanol production from sugarcane bagasse hydrolyzate by Spathaspora passalidarum and Scheffersomyces stipitis. Biotechnol. Bioeng. 114, 2211–2221.
16. Terán Hilares, R. et al. (2017). Ethanol production in a simultaneous saccharification and fermentation process with interconnected reactors employing hydrodynamic cavitation-pretreated sugarcane bagasse as raw material. Bioresour. Technol. 243, 652–659.
17. Magalhães, B.L. et al. (2018). Improved n-butanol production from lignocellulosic hydrolysate by Clostridium strain screening and culture-medium optimization. Biomass Bioenergy 108, 157–166.

18. Zetty-Arenas, A. M. et al. (2019). Towards enhanced n-butanol production from sugarcane bagasse hemicellulosic hydrolysate: strain screening, and the effects of sugar concentration and butanol tolerance. Biomass Bioenergy 126, 190–198.
19. Chacón, S. et al. (2021). Three-stage repeated-batch immobilized cell fermentation to produce butanol from non-detoxified sugarcane bagasse hemicellulose hydrolysates. Bioresource Technology, 321, 124504. doi:10.1016/j.biortech.2020.124504
20. Zetty-Arenas, A. M. et al. (2021). Co-fermentation of sugarcane bagasse hydrolysate and molasses by Clostridium saccharoperbutylacetonicum: effect on sugar consumption and butanol production. Industrial Crops and Products, 167, 113512. doi:10.1016/j.indcrop.2021.113512.
21. Pandu, K., Joseph, S. (2012). Comparisons and limitations of biohydrogen production processes: a review. Int. J. Adv. Eng. Technol. 2, 2231–11963.
22. Sekoai, P.T., Daramola, M.O. (2015). Biohydrogen production as a potential energy fuel in South Africa. Biofuel Res. J. 2, 223–226.
23. Michelena, G.; Sabadí, R. (2022). Estado del arte de la producción de hidrógeno a partir de biomasa cañera. Informe de etapa 2 del resultado 7 del proyecto PN3602LH002-005, PNCTI02. ICIDCA, La Habana.
24. Bin Hu, B., Zhu, M.J. (2017). Direct hydrogen production from dilute-acid pretreated sugarcane bagasse hydrolysate using the newly isolated Thermoanaerobacterium thermosaccharolyticum MJ1. Microb. Cell Fact. 16, 1–11.
25. Reddy, K. et al. (2017). Biohydrogen production from sugarcane bagasse hydrolysate: effects of pH, S/X, Fe2+, and magnetite nanoparticles. Environ. Sci. Pollut. Res. 24, 8790–8804.
26. Kumari, S., Das, D. (2015). Improvement of gaseous energy recovery from sugarcane bagasse by dark fermentation followed by biomethanation process. Bioresour. Technol. 194, 354–363.
27. Ramprakash, B. et al. (2022). Current strategies and future perspectives in biological hydrogen production: a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 168, 112773, ISSN 1364-0321. https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112773 https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032122006578
28. Srivastava, N. et al. (2022). Biohydrogen production via integrated sequential fermentation using magnetite nanoparticles treated crude enzyme to hydrolyze sugarcane bagasse. International Journal of Hydrogen Energy. 47, 72, 30861-30871. Elsevier. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.08.198. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319921034455
29. Chandrasekhar, K. et al. (2020). Waste based hydrogen production for circular bioeconomy: Current status and future directions. Bioresource Technology, https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122920.
30. Janke, L. et al. (2015). Biogas production from sugarcane waste: assessment on kinetic challenges for process designing. Int. J. Mol. Sci. 16, 20685–20703.
31. Liu, Y. et al. (2015). Sequential bioethanol and biogas production from sugarcane bagasse based on high solids fedbatch SSF. Energy 90, 1199–1205.
32. Bolado-Rodríguez et al. (2016). Effect of thermal, acid, alkaline and alkaline-peroxide pretreatments on the biochemical methane potential and kinetics of the anaerobic digestion of wheat straw and sugarcane bagasse. Bioresour. Technol. 201, 182–190.
33. Oliva, D. et al. (2022). Generación de energía eléctrica a partir del biogás producido desde los residuos de los procesos de producción de azúcar y etanol (ELECTROBIOL). Proyecto del PNCTI 02. CITMA. La Habana, Cuba.
34. Dantas, E. R. S. et al. (2020). Biochemical conversion of sugarcane bagasse into the alcohol fuel mixture of isopropanol-butanol-ethanol (IBE): is it economically competitive with cellulosic ethanol? Bioresource Technology, 123712. doi:10.1016/j.biortech.2020.123712 . Consultado 29/10/2022.

35. Tondro, H. et al. (2020). Biological production of hydrogen and acetone- butanol-ethanol from sugarcane bagasse and rice straw using co-culture of Enterobacter aerogenes and Clostridium acetobutylicum. Biomass and Bioenergy, 142, 105818. doi:10.1016/j.biombioe.2020.105818.
36. Saripan, A.; Reungsang, A.; Sittijundae, S. (2021). Co-production of hydrogen and ethanol by Thermoanaerobacterium thermosaccharolyticum KKU-ED1 from alpha-cellulose and cellulose fraction of sugarcane bagasse. Bioresource Technology Reports. Volume 15, September 2021, 100759. https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100759 https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2589014X21001377
37. Kuruti, K. et al. (2015). Generation of bioethanol and VFA through anaerobic acidogenic fermentation route with press mud obtained from sugar mill as a feedstock. Bioresour. Technol. 192, 646–653.
38. Nimbalkar, P.R. et al. (2017). New Insight into sugarcane industry waste utilization (Press Mud) for cleaner biobutanol production by using C. acetobutylicum NRRL B-527. Appl. Biochem. Biotechnol. 183, 1008–1025.
39. Rouf, M. et al. (2013). Techno-economic assessment of biogas production from press mud in Bangladesh. Bangladesh J. Sci. Ind. Res. 48, 51–58.
40. Iakshmi, V. et al. (2022). Press mud and bagasse from sugar mill: Cumulative effect of anaerobic co-digestion integrated with pre-treatment on overall performance. Biomass and Bioenergy, Volume 166, November 2022, 106625. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2022.106625 https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0961953422002872
41. Fuess, L.T., Zaiat, M. (2018). Economics of anaerobic digestion for processing sugarcane vinasse: applying sensitivity analysis to increase process profitability in diversified biogas applications. Process Saf. Environ. Prot. 115, 27–37.
42. Ling, J. et al. (2014). Lipid production by a mixed culture of oleaginous yeast and microalga from distillery and domestic mixed wastewater. Bioresour. Technol. 173, 132–139.
43. Santos, S.C. et al. (2014). Hydrogen production from diluted and raw sugarcane vinasse under thermophilic anaerobic conditions. Int. J. Hydrogen Energy 39, 9599–9610.
44. Chatterjee, S.; Venkata, S. (2021). Simultaneous production of green hydrogen and bioethanol from segregated sugarcane bagasse hydrolysate streams with circular biorefinery design. Chemical Engineering Journal. Volume 425, 1 December, 130386. https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.130386. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894721019720
45. De Freitas, R. et al. (2021). Chapter 5 - Sugarcane-based ethanol biorefineries with bioenergy production from bagasse: thermodynamic, economic, and emissions assessments. Waste Biorefinery. Value Addition through Resource Utilization. Páginas 125-158 https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821879-2.00005-3. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128218792000053
46. Katakojwala, R.; Venkata, S. (2022). Multi-product biorefinery with sugarcane bagasse: Process development for nanocellulose, lignin and biohydrogen production and lifecycle analysis. Chemical Engineering Journal. Volume 446, Part 4, 15 October 2022, 137233. https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.137233. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S138589472202722X
47. Raizen (2022). Informe annual de sostenibilidad 2020/2021. https://www.raizen.com.br/relatorioanual/2021/es/renovables.html. Consultado 30/5/2022.

Evaluación de la etapa final de tratamiento del ron añejo

Heylin González-Álvarez[1], Lourdes Zumalacárregui-de Cárdenas[1], Osney Pérez-Ones[1]*, e Idania Blanco-Carvajal[2]
1. Facultad de Ingeniería Química, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría Calle 114 No. 11901, Marianao. La Habana, Cuba
2. 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.
* osney@quimica.cujae.edu.cu

RESUMEN

Se evalúa el desempeño de las etapas finales del proceso de producción del ron Añejo: filtración y desmineralización. Con la placa filtrante NA-70K se determinaron la conductividad, el pH, el grado alcohólico y el color para varios volúmenes de filtrado, las placas se lavaron con dos medios: agua destilada y ron Vázquez. Se evaluó la resistencia hidráulica del filtro y se comprobó el mecanismo de formación de torta en un proceso, a diferencia de presión constante. Se concluye que la placa filtrante NA-70K es adecuada para la filtración del ron Añejo y es conveniente emplear ron Vásquez para el lavado de las placas en sustitución del agua destilada. En la desmineralización se determinaron los parámetros asociados a la resina de intercambio iónico: altura de lecho, volumen y concentración de iones calcio y magnesio del ron a la entrada de la columna, densidad aparente y retención de líquido. Se comprobó que la columna presenta síntomas de envejecimiento, lo que provoca que se pierdan 11.2 L del ron Añejo por lote. A pesar de esto se logran las concentraciones de iones calcio y magnesio establecidas a la salida del producto. Se calculan de forma preliminar los parámetros de operación de una columna de mayor capacidad.
Palabras clave: ron Añejo, filtro prensa, medio filtrante, columna desmineralizadora.

ABSTRACT

This work evaluates the performance of the final stages of the Añejo rum production process: filtration and demineralization. Using NA-70K filter plate, conductivity, pH, alcoholic strength and colour were determined for various filter volumes, washing the plates with two media: distilled water and Vázquez rum. Hydraulic filter resistance was determined by checking the cake forming mechanism constant pressure process. It is concluded that the NA-70K filter plate is suitable for the filtration of Añejo rum and it is advisable to use Vasquez rum for the washing of the plates instead of the distilled water. At the demineralization stage, the parameters associated with the ion exchange resin were determined: bed height, volume and concentration of calcium and magnesium ions from rum at the entrance of the column, apparent density and liquid retention. The demineralizing column has symptoms of aging, causing 11.2 L of Añejo rum to be lost in each batch. Despite this, the concentrations of calcium and magnesium ions established at the output of the product are achieved. The operation parameters of a higher capacity column are calculated in a preliminary manner.
Key words: Añejo rum, press filter, filtration media, demineralization column.

INTRODUCCIÓN

El tratamiento del producto final, mediante operaciones de filtración y desmineralización permite asegurar que el ron alcance los atributos finales, antes de su embotellado (1). La filtración se realiza a través de placas filtrantes, para lograr el abrillantamiento del producto y, en este proceso, quedan retenidas las partículas en suspensión, tanto a nivel macroscópico como microscópico.

Las placas filtrantes en profundidad son ideales para una mayor filtración en líquidos, con alta carga de partículas y los simples filtros de superficie, como las membranas, tienen una vida útil limitada. Por lo general, las placas filtrantes se componen de una matriz de fibra de celulosa o de polímero, enriquecida con ayuda de filtros minerales y se mantienen unidas con un aglutinante de resina (2). En este proceso se utiliza un filtro prensa Carlson 40, serie ZP862 No. 84268, con placas filtrantes NA-70K de 40 cm x 40 cm y 10 µm de porosidad (3).

La desmineralización se realiza para eliminar los iones calcio y magnesio y evitar precipitaciones del producto en el envase final. Para ello se emplea una columna de intercambio iónico, que contiene una resina catiónica fuerte tipo gel, Purolite C-100, de matriz de poliestireno sulfonada, que trabaja en ciclos iónicos hidrógeno y sodio (4). La mayoría de los materiales comerciales disponibles posee capacidades de intercambio en el intervalo de 1-10 eq/kg de material seco (5).

A la salida de la columna desmineralizadora, como elemento de seguridad, se ubica un filtro de cartucho Sartorius, de 0.5 µm, con el objetivo de retener pequeñas partículas de resina (1).

En la etapa de embotellado se controla el cumplimiento de las normas de fregado, filtración, envasado, etiquetado y embalaje de las botellas. Para esto se lleva un control del 100 % de las botellas antes de envasar y después del envasado y se rechazan las botellas que se detecten con alguna rotura. Se acepta hasta un 1 % de rechazo por roturas en el área de envasado. Adicionalmente, otro indicador de calidad establece que se acepte hasta un 7 % de rechazo por la presencia de partículas en suspensión en las botellas (6). En los años 2018 y 2019 el porcentaje de rechazo de botellas alcanzó un valor medio de 7.72 % (desviación estándar 6.67 %, lo que muestra la alta variabilidad), con tendencia al incremento en el último semestre.

El presente trabajo tiene como objetivo determinar el desempeño de los procesos de filtración y desmineralización del ron Añejo y encontrar una explicación a ese incremento, para lo cual se evaluó el comportamiento de la placa filtrante NA-70K y de la columna desmineralizadora, y proponer modificaciones en las condiciones de operación para disminuir las pérdidas en el proceso productivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Evaluación del desempeño del filtro prensa

La placa filtrante NA-70K está diseñada para operar a una razón de flujo de 238 L/(min*m^2) a 20 ^oC y 100 kPa (4).

Los ensayos utilizados para la caracterización de los productos se realizaron en el Laboratorio de Bebidas (LABEB), del Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), el cual tiene la condición de laboratorio acreditado por cumplir con las exigencias establecidas por la ISO/ IEC 17 025: 2006 (1). En la tabla 1 se muestran los ensayos realizados. El procesamiento de los datos obtenidos, de manera experimental, se realizó con el software Statgraphics Centurion XVII, que posibilitó el adecuado análisis estadístico de los resultados.

Tabla 1. Ensayos realizados a los rones filtrados en LABEB

Nombre del ensayo	Norma del ensayo
Determinación del color en rones	NC-529:2007 (7)
Determinación del pH	PNO-17.2 (8)
Determinación de la dureza del agua	PNO-25 (9)
Determinación del grado alcohólico por densimetría digital	NC-790:2010 (10)
Determinación de la conductividad	PNO-17.8 (11)

Para realizar la prueba de las placas filtrantes, a escala de laboratorio, se tomó una muestra circular de la placa filtrante de 7.2 cm de diámetro (D) y se calculó el área circular (A), mediante la ecuación 1; se colocó en un embudo de Büchner de igual diámetro. Dicho embudo se acopla a un sistema formado por un Erlenmeyer y una bomba de vacío Speedivac, serie ES35, con una diferencia de presión máxima de 138 kPa.

$$A = \frac{\pi}{4} * D^2 \qquad \text{(Ec.1)}$$

Primeramente, se filtró agua destilada de dureza total 0 ppm; pH 5.8 y conductividad 3.8 mS/cm. hasta alcanzar un volumen de seis litros. Se tomaron muestras de 100 mL, cada un litro, a las que se les realizó análisis por triplicado, para determinar conductividad, pH y dureza total. Después del lavado de la placa de filtración se realizó el enjuague con ron Añejo de 38.32 % v/v a 20 °C hasta que este alcanzó el grado alcohólico que lo caracteriza. Se tomaron muestras cada 500 mL, a las que se les realizó la determinación del grado alcohólico.

Adicionalmente, se realizó el lavado de las placas con un ron también elaborado en la instalación, el ron Vázquez, que tiene un grado alcohólico de 34.04, (%v/v 20 °C) y un color 0.1055 unidades de DO a 430 nm. Para esta segunda prueba de filtración se lavaron las placas con igual volumen de ron Vásquez que de agua, necesaria para alcanzar las condiciones iniciales. Se tomaron muestras de 100 mL por cada litro filtrado y se les realizaron determinaciones de grado alcohólico y color por triplicado. Después se realizó un enjuague de la placa con ron Añejo de 38.35 % v/v a 20 °C, hasta alcanzar el grado alcohólico inicial.

Para obtener la resistencia hidráulica del filtro empleado, se determinaron los volúmenes de filtrado (V) para diferentes períodos de tiempo (t) y se mantuvo constante la diferencia de presión (ΔP). Se filtraron 400 L del ron Añejo y se tomaron mediciones de volumen cada 30 segundos. Los datos obtenidos se procesaron y se construyó la gráfica de t/V vs V, como se verá más adelante en la figura 3. Los valores de t/V deben ser una función lineal de V, cuando hay formación de torta en un proceso a ΔP constante. De la pendiente de la línea recta se obtiene K y del intercepto B, que constituye la resistencia hidráulica del filtro (12), como se puede apreciar en las ecuaciones 2, 3 y 4.

$$\frac{t}{V} = K * V + B \qquad \text{(Ec. 2)}$$

$$K = (C * \propto * m)/(S^2 * (-\Delta P)) \qquad \text{(Ec. 3)}$$

$$B = (Rm * \mu)/(S * (-\Delta P) \qquad \text{(Ec. 4)}$$

Evaluación de la columna desmineralizadora

Para la ejecución de la operación de desmineralización se empleó una columna desmineralizadora con resina catiónica fuerte Purolite C-100E de matriz de poliestireno sulfonada en ciclo hidrógeno y sodio. Presenta una densidad aparente de 850 g/L (4). Se determinaron los parámetros asociados a la resina: altura de lecho, volumen, y concentración de iones calcio y magnesio del ron, a la entrada de la columna, así como los parámetros directamente asociados al estado técnico de la resina: densidad aparente, retención de líquido y observación al microscopio. El trabajo se realizó con dos lotes de resina, la resina industrial en uso y una nueva.

Para la evaluación de la columna desmineralizadora se midieron la altura de la cama de resina (h) y el diámetro de la columna (Dc), para determinar su volumen (V), mediante la ecuación 5.

$$V = \frac{\pi}{4} * Dc^2 * h \qquad \text{(Ec. 5)}$$

Para determinar la velocidad lineal en m/h (q) a la que circula el fluido por la columna se aplicó la ecuación 6, conocido el flujo volumétrico en m^3/h (Q), el área de la sección transversal en m^2 (A).

$$q = Q/A \quad \text{(Ec. 6)}$$

Los procedimientos aplicados para determinar la densidad aparente (Da) y la retención de líquido en la resina (R) se adaptaron a partir de los procedimientos recomendados por la American Society for Testing and Materials (ASTM) y el American Nacional Standards Institute (ANSI) (13). Para la determinación de la densidad se secó la resina en horno a 110 °C, durante dos horas, con enfriamiento posterior, a temperatura ambiente, en desecadora con sílica gel activada.

Para la retención de líquido, se secaron 50 g de la resina en horno a 110 °C, durante dos horas y se enfrió a temperatura ambiente en desecadora con sílica gel activada. Posteriormente, a la resina, se le adicionaron 100 mL del ron Añejo y luego de 30 minutos se filtró por una malla de 0.15 mm. Se determinó el ron retenido en la resina al restar a los 100 mL iniciales el ron filtrado. La determinación de la retención de líquido (R) se calculó por la ecuación 7. Se repitió el procedimiento desde la adición de los 100 mL de ron hasta que no se detectó retención de líquido. Las determinaciones se hicieron por triplicado.

$$R = \frac{V_{ron\ retenido}}{m_{resina}} \quad \text{(Ec. 7)}$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación de la placa filtrante NA-70K

Para la muestra seleccionada de 7.2 cm, el área de filtración calculada (ecuación 1) fue de 40.69 cm^2, por lo que le corresponde un flujo de filtración de 0.96 L/min.

Con los resultados obtenidos, para la filtración de seis litros de agua destilada, se realizaron gráficas en las que se analizó el comportamiento del pH y la conductividad en función del volumen filtrado (figura 1). En las muestras analizadas, la dureza permaneció en un valor constante de 0 ppm, durante todo el intervalo de volúmenes de filtración.

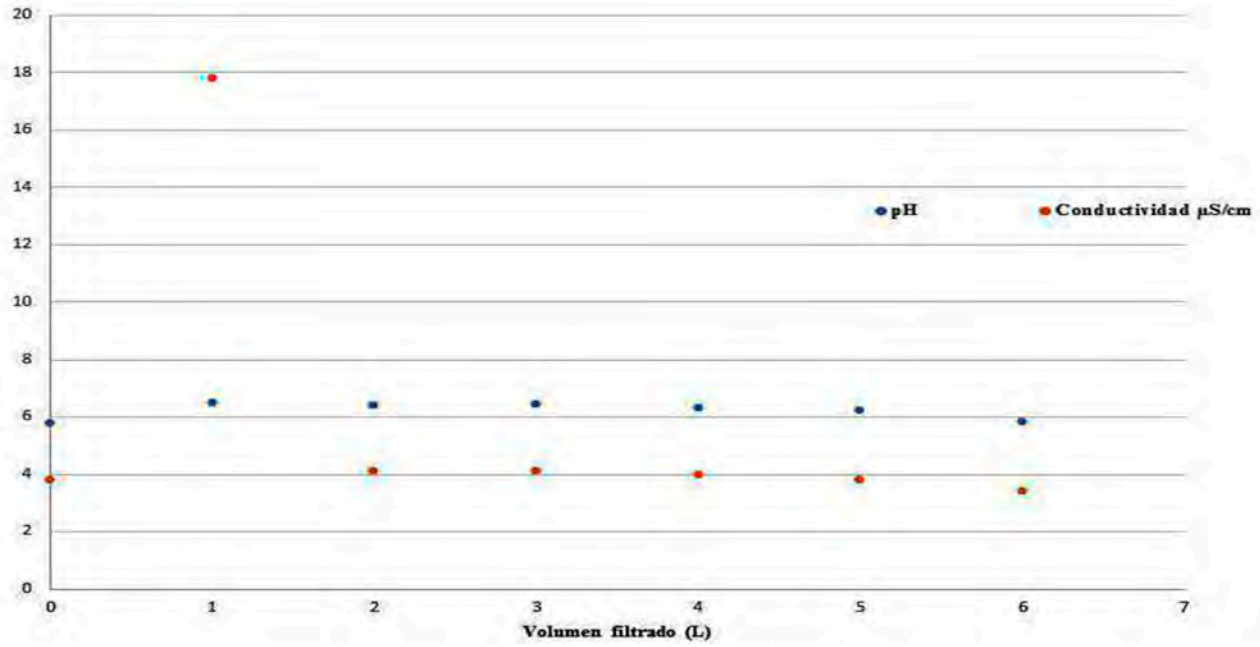


Figura 1. Comportamiento de la conductividad y el pH del agua destilada, a diferentes volúmenes de filtración.

La condición de volumen de filtrado 0 representa los valores de las variables para el agua destilada antes de filtrar. Se puede comprobar que existe un aporte de las placas filtrantes, debido a que al inicio de la filtración (volumen filtrado 1 L) existe una variación de la conductividad y el pH, que disminuyen progresivamente hasta alcanzar nuevamente los valores iniciales. La no variación de la dureza demuestra que este tipo de placas es adecuado para la filtración de rones, debido a que no existe un aporte significativo de iones Ca^{2+} y Mg^{2+}. Con el procedimiento se demuestra que la placa NA-70K, a partir de cinco litros de agua filtrada, logra alcanzar las condiciones de conductividad eléctrica iniciales y a los seis litros se logra el pH esperado. Por consiguiente, la placa objeto de estudio no afecta estas características físico-químicas de los rones. Seguidamente se filtró ron Añejo, se tomaron muestras a 500 mL y 1 L y se obtuvo un grado alcohólico de 37.49 y 38.06 % v/v a 20 °C, respectivamente. En la muestra de 1 L no se detectaron partículas en suspensión. Este resultado muestra que se requiere más de 1 L del ron Añejo para el lavado final de la placa filtrante.

Adicionalmente, se realizó la prueba con ron Vázquez, como medio de lavado de las placas. En la figura 2 se presenta el resultado del cambio en el grado alcohólico y del color en el filtrado. Luego de los 6 L de lavado de las placas, con ron Vázquez, se filtró el ron Añejo y se tomaron muestras después de filtrar 500 mL y 1 L, se obtuvo un grado alcohólico de 38.30 % v/v y 38.38 % v/v a 20 °C, respectivamente; o sea, con 1 L se logra que se alcance el grado alcohólico del ron Añejo. A la muestra tomada después de filtrar un litro se le realizó la inspección visual y no se detectaron partículas en suspensión.

Con el análisis de ambos experimentos se determinó que, el lavado de las placas, puede realizarse de igual manera con agua destilada o ron Vásquez. Si se lavan con ron Vásquez, a pesar de que no se alcanza el grado alcohólico inicial del ron Vásquez, se logra obtener con un menor volumen filtrado el grado alcohólico deseado, por lo que su empleo constituye un ahorro del producto de interés (ron Añejo).

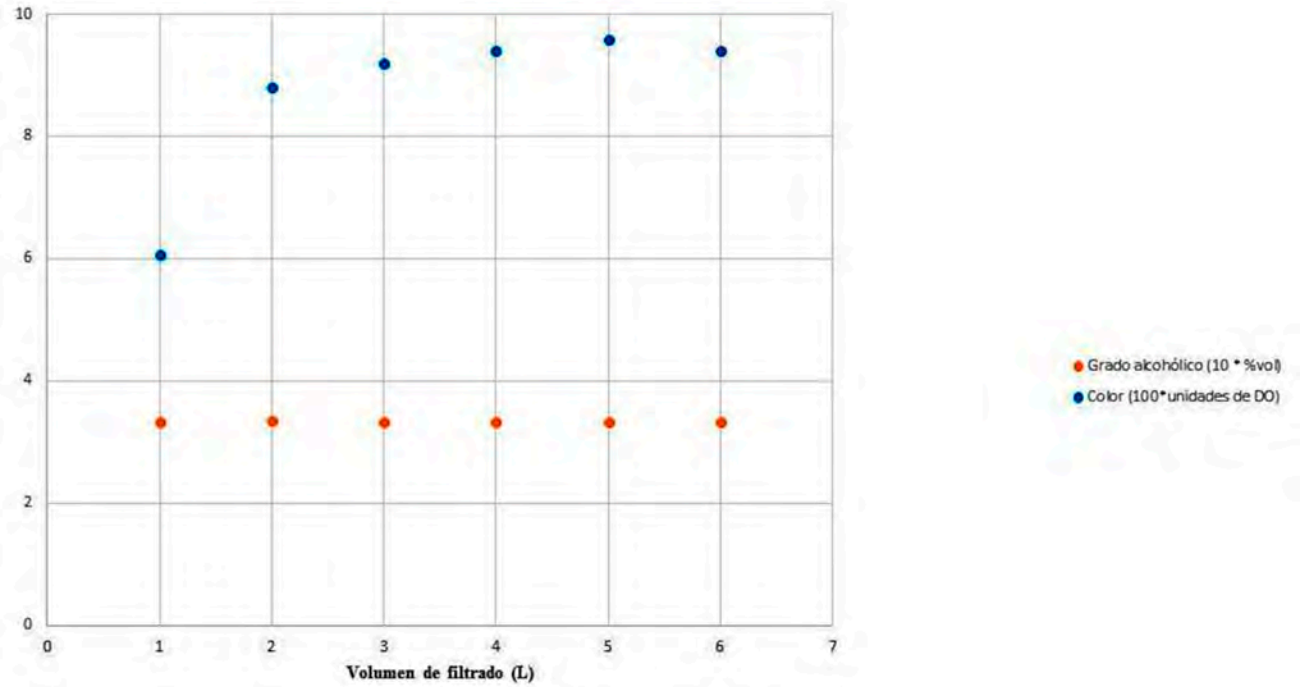


Figura 2. Comportamiento del grado alcohólico y del color a diferentes volúmenes de filtración, con ron Vázquez como medio de lavado de las placas.

Determinación de la resistencia hidráulica en la filtración de ron Añejo a escala industrial

Los resultados obtenidos durante la filtración, a escala industrial, se presentan en la figura 3. La recta obtenida puede ser descrita mediante la ecuación 8, con R^2 = 81.0 %, error estándar de los

estimados = 0.0112 y error medio absoluto = 0.0078. El ajuste de la recta permite afirmar que el mecanismo de filtración corresponde al de formación de torta a ΔP constante.

$$t/V = 0.0001 * V + 2{,}43 \quad \text{(Ec. 8)}$$

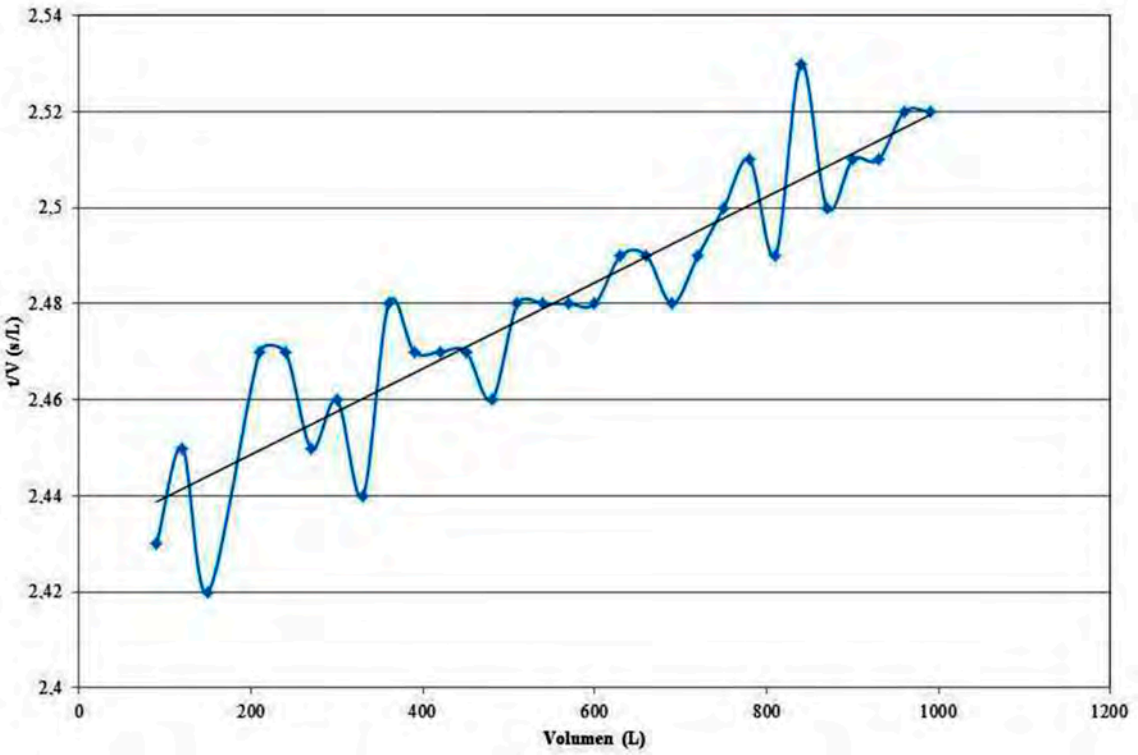


Figura 3. Gráfica de t/V *vs* V para evaluar la resistencia hidráulica.

Del intercepto se obtiene que la placa filtrante estudiada presenta una resistencia hidráulica de $2.43*10^{3}$

Se conoce que el área de filtración (S) es de 0.8 m^2, la viscosidad de la suspensión (μ) es de $1.033 * 10^{-3}$ Pa*s y la caída de presión (-ΔP) es de 101.3 kPa por lo que al aplicar la ecuación 4 se determinó que la resistencia del medio filtrante es de $1.9*10^{11}$ m^{-1}. Aunque no se dispone de evaluaciones anteriores que permitan comparar este resultado, la consulta en textos permite comprobar que el orden de magnitud es lógico (14). Otra comparación puede hacerse si se calcula la resistencia específica del medio filtrante, conocido su espesor. Este valor sería $0.5*10^{14}$ m^{-2}, orden de magnitud que corresponde a la resistencia específica de un medio filtrante de dolomita, componente que se conoce que está en la formulación de la placa (15).

Comportamiento de la columna desmineralizadora

La columna industrial empleada en la desmineralización del ron Añejo posee 1.3 m de altura del lecho y 9 cm de diámetro, lo que representa un volumen de cama de resina de 8.2 L, según se vio en la ecuación 5.

La densidad aparente de la resina nueva y en uso fue de 809.6 (coeficiente de variación 2.42 %) y 657.1 g/L (coeficiente de variación 1.04 %), respectivamente. La resina nueva difiere en un 4.75 % de la especificada por el fabricante. Esto se debe a los largos períodos de almacenamiento. La resina en uso presenta una disminución de 18.83 % de su densidad, lo cual es síntoma de envejecimiento de la resina y un estado técnico inadecuado.

Al evaluar la retención de líquido se obtuvo que la resina nueva fue capaz de retener 1.84 L/kg (coeficiente de variación 4.98 %), mientras que la resina en uso 2.15 L/kg (coeficiente de variación

9.12 %). El aumento en un 16.84 % de la retención de líquido puede estar asociado a la destrucción parcial de la estructura base de la red polimérica de la resina y es un indicador de su envejecimiento.

El aumento de la retención de líquido constituye un aumento de las pérdidas en el proceso productivo porque, en cada lote a desmineralizar, se pierde el ron que queda retenido en la columna. En las condiciones actuales para un volumen de 8.2 L y una densidad aparente de 657.1 g/L se pierden 11.2 L del ron Añejo, en cada lote.

En la tabla 2 se muestran los contenidos de iones calcio y magnesio de las muestras de ron que alimentaron la columna desmineralizadora, para evaluar su desempeño en la remoción de iones, tanto con la resina en uso como con la resina nueva. De los resultados obtenidos para ambas resinas se concluye que se logran las concentraciones especificadas (suma de los iones Ca^{2+} y Mg^{2+} < 2 µg/mL), con lo que su desempeño, en la remoción, es adecuado.

Tabla 2. Contenido de iones calcio y magnesio antes de pasar el ron por la columna de intercambio y después de ello

Resina	Ca^{2+} (µg/mL) al inicio	Mg^{2+} (µg/mL) al inicio	Ca^{2+} (µg/mL) al final	Mg^{2+} (µg/mL) al final
Nueva	7.10	1.04	<0.01	<0.01
En uso	7.26	1.01	<0.01	<0.01

Con el objetivo de aumentar capacidades en la etapa de desmineralización y al conocer que el comportamiento de la actual columna era satisfactorio, se procedió a evaluar una columna de intercambio iónico de capacidad 100 L, donada a la institución. Para realizar el escalado y seguir el criterio de similitud, debe lograrse similitud geométrica, dinámica y cinemática. Con la similitud geométrica se mantiene constante la relación entre la longitud de la columna y el diámetro; con la cinemática, se asegura que las propiedades físicas del fluido, en las columnas de ambas escalas, sean iguales para que el régimen de transferencia de masa se mantenga; y, con la dinámica, la velocidad lineal de flujo, en ambas columnas, se mantiene constante. La comparación entre las dimensiones de ambas columnas se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Dimensiones de las columnas de intercambio iónico

	Columna en uso	Columna nueva
Volumen (L)	8.27	100
Altura de la columna (m)	1.50	0.94
Altura de la cama (m)	1.30	0.82
Diámetro interno de la columna (m)	0.09	0.405

En el caso analizado, la similitud geométrica no se mantiene, ya que la relación longitud de cama/diámetro de columna es diferente (14.4 para la escala menor de la columna actual y 2.02 para la escala mayor). Por otra parte, en la columna de menor diámetro, la magnitud axial es superior a la radial, con lo que se puede priorizar el flujo axial, pero en la columna de mayor volumen, las dimensiones axiales y radiales son similares, con lo que no debe ser posible mantener el flujo axial como predominante. Al ser esta columna la que se tiene disponible, no es posible mantener la similitud geométrica.

Se consideró el criterio de mantener la velocidad lineal de flujo constante, que da una medida de la velocidad con la que pasa el líquido a través de la columna (16). La columna en uso tiene un área de la sección transversal de $6.35*10^{-3}$ m^2 y una velocidad lineal de 188 cm/h, calculadas mediante las ecuaciones 1 y 6, respectivamente. La columna nueva tiene un área de la sección transversal de 0.128 m^2, por lo que para mantener la velocidad lineal es necesario alimentar un flujo volumétrico

de 240 L/h. Este resultado debe ser tomado solamente como un criterio, se deben realizar pruebas experimentales que permitan ajustar el valor.

CONCLUSIONES

La placa clarificante NA-70K es adecuada para la filtración del ron Añejo y es conveniente emplear ron Vásquez para el lavado de las placas, en lugar de agua destilada, pues con ello se requiere menos consumo de ron Añejo en el lavado final de la placa.

La resina de la columna desmineralizadora presenta síntomas de envejecimiento, lo que provoca que se pierdan 11.2 L de ron Añejo en cada lote. A pesar de esto se logran las concentraciones de iones calcio y magnesio especificadas.

A la nueva columna de intercambio iónico de 100 L, se deberá alimentar un flujo volumétrico de 240 L/h, como criterio preliminar. Este valor se deberá ajustar experimentalmente, una vez instalada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Batista, M.V. Control de la Producción y Trazabilidad, ICIDCA, POE-12, La Habana, 2018. 27p.
2. FILTROX Placas filtrantes & filtros. Suiza < http://www.filtrox.com/rs/productos/placas-filtrantes > [Fecha de consulta:11/06/2020]
3. Medina, E.E. Utilización del filtro prensa y filtro Sartorius acoplado al mismo, ICIDCA, POE-8.4, La Habana. 2019.
4. PUROLITE Purolite C100E. Product Bulletin. EEUU < https://www.purolite.com/ product/ c100e> [Fecha de consulta:7/06/2020]
5. Michaud, C. Purolite. Water Softening Resin Guide. Application Notes. EEUU. 2011. 8p.
6. Reyes- Linares, A. Informe hasta la fecha del año 2018 del proceso de producción. ICIDCA, La Habana. 2018.
7. Oficina Nacional de Normalización. NC-529:2007. Bebidas alcohólicas. Determinación de la intensidad colorante en rones. Cuba. 2007.
8. Herrera Marrero, N. Utilización del pH-metro, ICIDCA, PNO-17.2, LABEB, 2008.
9. Méndez, J., Sistema de control de calidad para la producción de rones y aguardientes, La Habana: Editorial Ministerio del Azúcar, 1977.
10. Oficina Nacional de Normalización. NC-790:2010. Bebidas alcohólicas. Determinación del grado alcohólico. Métodos de referencia: 1- Grado alcohólico por picnometría y 2- Grado alcohólico por densimetría digital, Cuba. 2010.
11. Herrera Marrero, N. Utilización del conductímetro, ICIDCA, PNO-17.8, LABEB, 2006.
12. Rosabal Vega, J.M., Matos Valle, M. Hidrodinámica y separaciones mecánicas. 3ra edición. Vol 2. La Habana: Editorial Félix Varela, 2006, 161 p. ISBN 978-970-18-1407-9
13. ASTM International. Standard Test Methods and Practices for Evaluating Physical and Chemical Properties of Particulate Ion-Exchange Resins ASTM D2187 – 17. West Conshohocken, PA, 2017.
14. Richardson, J.F., Harker. J.H., Backhurst, J.R. Particle Technology and Separation Processes Coulson and Richardson's Engineering. 5 ed. Vol. 2. UK: Butterworth-Heinemann. 2002,1229 p. ISBN 0 7506 4445 1
15. Carlson Filtration LTD. Carlson's Process Filtration Product Range. UK < www.carlson.co.uk >(Fecha de consulta:11/04/2020)
16. Hagel, L., Jagschies, G., Sofer, G. Handbook of Process Chromatography 2nd edition. The Netherlands: Elsevier. 2008, 383 p. ISBN 978-0-12-374023-6.

Impacto de la formulación Fitomás-EC y su combinación con Gluticid en variedades de maíz y papa

Adolfo Brown-Gómez[1]* Elein Terry-Alfonso[2], Yudines Carrillo-Sosa[2], Josefa Ruiz-Padrón[2], Eulalia Gómez-Santiesteban[1], Amaury Álvarez-Delgado[1], Yamilet Mantilla-García[2], José A .Andarcio-Medina[2] y Yohana Fernández-Oñate[1]

1. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA). Vía Blanca # 804 y Carretera Central, Apartado 4026. La Habana, Cuba.
2. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), Carretera Tapaste km 3 ½. San José de las Lajas. Mayabeque.

* adolfo.brown@icidca.azcuba.cu

RESUMEN

La producción y aplicación de bioplaguicidas ha permitido a Cuba contar con recursos propios para la protección fitosanitaria de los cultivos. Los bioproductos Fitomás-EC® y Gluticid® constituyen productos derivados de la industria azucarera, considerados fitoestimulantes, cuya nueva formulación persigue un doble efecto sobre los cultivos. El presente trabajo se desarrolló en condiciones de campo, con el objetivo general de evaluar la nueva formulación Fitomás-EC®+Gluticid® sobre el cultivo del maíz variedad (*Diamante*), y cuatro variedades de papa (2E, Eclat, 57 E y Memphis), a partir de un diseño experimental de bloques al azar, con 4 réplicas por tratamiento, realizados por aspersión foliar. Los resultados mostraron compatibilidad entre los dos productos y que pueden aplicarse juntos en el control biológico.
Palabras clave: maíz, papa, bioproductos, Fitomás-EC, Gluticid.

ABSTRACT

Production and use of bio-plaguisides allows Cuba to has its own means for an effective phitosanitary protection of its cultures. Fitomás-EC® and Gluticid® are byproducts f the sugar industry, being considered bio stimulants, which their new formulation induces a double effect over the crops. This work was developed under field conditions, to evaluate the impacts of the new formulation of Fitomás-EC®+Gluticid® over cultures of corn (*Diamond variety*), and four potato varieties (2E, Eclat, 57 E and Memphis) by experimental squares at random technic with four reply per treatment using leave aspersion. The results showed compatibility among the two products and that they can be applied together in the biological control.
Key words: corn, potato, by-products, Fitomás-EC, Gluticid.

INTRODUCCIÓN

Introducir mejora continua en productos comercializados por el ICIDCA constituye una tarea pendiente y forma parte del estudio que responde al trabajo realizado en colaboración con el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA).

Las aplicaciones del Fitomás-EC solo (1, 2) y su combinación con el Gluticid (3, 4), han mostrado impactos diferentes en la respuesta agronómica de algunos cultivos como el frijol y el tomate. Ambos bioproductos son de producción nacional y sustituyen importaciones, de ahí la importancia por mejorar su sostenibilidad y buscar beneficios en los rendimientos agrícolas. En el contexto actual, el elevado precio de los fertilizantes en el mercado internacional exige la búsqueda de soluciones nacionales para minimizar los riesgos en la agricultura.

Los síntomas vinculados a enfermedades que aparecen en los campos se deben, fundamentalmente, a la interacción de condiciones climáticas, al sistema de producción, a variedades utilizadas, a la presencia de residuos anteriores contaminados con enfermedades y a infecciones por microorganismos (hongos, bacterias, nematodos y virus).

El Fitomás-EC®, el Gluticid® y la combinación de ambos, tienen la ventaja de aplicarse con mochilas de fumigación, asperjadoras mecanizadas e, incluso, aspersión aérea con aviones dedicados a la fumigación.

El objetivo principal del presente estudio es evaluar el impacto de la nueva formulación Fitomás-EC®+Gluticid® sobre el cultivo de maíz (var. *Diamante*) y cuatro variedades de papa (2E, Eclat, 57 E y Memphis) que potencien, en una sola aplicación, un doble efecto bioestimulante/protector, para incrementar el rendimiento y la resistencia ante el ataque de plagas.

MATERIALES Y MÉTODOS

- Fitomás-EC®, obtenido en la Planta de Producción del ICIDCA, La Habana.
- Gluticid®, producido en la Planta de la UEB de Bioprocesos, de Quívican, Mayabeque.

Tabla 1. Descripción de los tratamientos

No.	Tratamientos
1	Fitomás-EC
2	Fitomás-ECt+Gluticid
3	Gluticid
4	Control (sin bioproducto)

El estudio se desarrolló en las áreas experimentales del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), ubicada en San José de las Lajas, Mayabeque.

Fitomás-EC y Gluticid: Se aplicarán por aspersión foliar con mochila, a razón de 2.8 mL L^{-1} de Fitomás-EC y 6 g L^{-1} de Gluticid y combinados en una sola aplicación.

Experimento 1. Efecto del Fitomás-EC y su combinación con el Gluticid en el cultivo del maíz (*Zea mays L., var. Diamante*).

- Fecha de siembra: 27 de octubre del 2021
- Primera aplicación: 17 noviembre del 2021 (21 DDS)
- Segunda aplicación: 30 noviembre del 2021 (35 DDS)
- DDS: días después de la siembra.
- Diseño experimental: Bloque al azar, con 4 réplicas por tratamiento, con parcelas de 11.25 m^2
- Distancia de siembra 0.75 x 0.30 cm

Durante el estudio, el seguimiento a la presencia de plagas se realizó de forma visual a 15 plantas/tratamiento. Los criterios seguidos para estimar el nivel de infección: ligero (10 %), medio (10 - 30 %), intenso (+ 30 %).

Experimento 2. Efecto del Fitomás-EC y su combinación con el Gluticid en el cultivo de cuatro variedades de papa *Solanum tuberosum* L. (*var. 2E, Eclat, 57 E y Memphis*).

- Fecha de siembra: 21 enero del 2022
- Tipo de Suelo: Ferralítico rojo compactado agrogénico

- Ubicación: Finca El Mulato
- Distancia de siembra: 0.90 x 0.25 m
- Primera aplicación: 22 de febrero del 2022

Tabla 2. Identificación y descripción de los tratamientos

No.	Tratamientos
1	Fitomás-EC(variedad 2E)
2	Fitomás-EC (variedad Eclat)
3	Fitomás-EC (variedad 57 E)
4	Fitomás-EC (variedad Memphis)
5	Fitomás-EC+Gluticid (variedad 2E)
6	Fitomás-EC+Gluticid (variedad Eclat)
7	Fitomás-EC+Gluticid (variedad 57 E)
8	Fitomás-EC+Gluticid (variedad Memphis)
9	Control (variedad 2E)
10	Control (variedad Eclat)
11	Control (variedad 57 E)
12	Control (variedad Memphis)

- Segunda aplicación: 9 de marzo del 2022
- Tercera aplicación: 16 de marzo del 2022
- Cuarta aplicación: 23 de marzo del 2022

Evaluaciones

- Masa de los tubérculos (g)
- Número de tubérculos por planta

Tabla 3. Afectaciones que produce la enfermedad del Tizón temprano

Grado de afectación expresado en porciento	Caracterización
10	Manchas en hojas inferiores
20	Manchas en la mayoría de las hojas inferiores y algunas del centro
30	Atizonamiento en hojas inferiores y algunas del centro
40	Tizón en hojas inferiores
50	Tizón en hojas inferiores y atizonamiento en la mayoría del centro
60	Tizón en hojas inferiores y la mayoría del centro
70	Tizón en hojas inferiores y en todas las del centro
80	Tizón en hojas inferiores, en todas las del centro y atizonamiento superior
100	Tizón en todas las hojas

- Rendimiento (t ha^{-1})
- Afectaciones producidas por la enfermedad del Tizón temprano, causada por *Alternaria Solani*, en condiciones de campo (54 DDP), según (5, 6), (tabla 3).

Tabla 4. Efecto del Fitomás-EC y su combinación con el Gluticid en el crecimiento de plantas de maíz *(var. Diamante),* a los 30 DDS

Tratamientos	Altura (cm) 1ra evaluación	Altura (m) 2da evaluación	Número de hojas
Fitomás-EC	0.55 ab	2.3 ab	8.7
Fitomás-EC+Gluticid	**0.58 a**	**2.5 a**	**9**
Gluticid	0.55 ab	2.3 ab	9.2
Control (sin bioproducto)	0.54b	2.0	8.9
ESx	1.48	0.17	0.37 ns

Letras iguales no difieren significativamente, según prueba de Duncan p<0.01
ns: es no significativo

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Experimento 1. Cultivo del maíz *(Zea mays L., var. Diamante)*
Se aplicaron los cuatro tratamientos planificados al cultivo del maíz (*variedad Diamante*).

Tabla 5. Efecto del Fitomás-EC y su combinación con el Gluticid en la masa fresca y la masa seca de plantas de maíz *(var. Diamante)* a los 92 DDS

Tratamientos	MF aérea (kg)	MS de 1000 g MF	No. de mazorcas	MF mazorcas con brácteas (kg)	MS mazorcas (kg)
Fitomás-EC	**0.58**	**25.5 ab**	**2.00**	**0.55 a**	**2.08 a**
Fitomá-EC+Gluticid	0.51	28 a	2.13	0.50 b	1.40 b
Gluticid	0.52	26.5 ab	2.00	0.48 b	1.30 b
Control	0.54	23 b	1.93	0.42 c	0.85 c
ESx	0.03 ns	1.70	0.11 ns	0.04	5.08

MF: Masa fresca MS: Masa seca. Letras iguales no difieren significativamente, según prueba de Duncan p<0.01. ns: es no significativo.

En la evaluación del crecimiento, se observaron pequeñas diferencias en cuanto a la altura de las plantas y a su número de hojas pero, de manera general, la combinación de ambos bioproductos

Tabla 6. Efecto del Fitomás-EC y su combinación con el Gluticid en componentes del rendimiento de plantas de maíz *(var. Diamante)* a los 92 DDS

Tratamientos	Parcela		m^2	
	No. de mazorcas	MF mazorcas con brácteas, (kg)	No. de mazorcas	MF mazorcas con brácteas, (kg)
Fitomás-EC	60.5 ab	17.0 a	1.24 b	5.53 a
Fitomás-EC+Gluticid	**62.25 a**	**14.0 b**	**1.51 a**	**5.37 ab**
Gluticid	61.5 ab	14.4 b	1.28 b	5.46 ab
Control	54.5 c	12.9 c	1.14 c	4.14 c
ESx	2.37	0.69	0.06	0.21

Letras iguales no difieren significativamente, según prueba de Duncan p<0.01. ns: es no significativo

ofrece una mejor respuesta.

Se reporta una mayor respuesta de la MF y de la MS en las mazorcas sometidas al tratamiento con Fitomás-EC solo, seguido de la combinación de los productos.

El análisis de los componentes del rendimiento por superficie reportó un mayor número de mazorcas, por parcela, en el tratamiento en el que se combinaron ambos bioproductos, lo cual denota un

Tabla 7. Efecto del Fitomás-EC y su combinación con el Gluticid en la mazorca de maíz *(var. Diamante)* a los 92 DDS

Tratamientos	Mazorcas					
	Longitud (cm)	Diámetro (cm)	No. de-granos	No. de hileras	No. de granos/ hileras	Peso 1 grano (g)
Fitomás-EC	33.7a	6.5a	458.3b	15.3a	33.8a	0.153b
Fitomás -EC+Gluticid	**30.3 b**	**5.2 b**	**510.3 a**	**15.5 a**	**31.2 b**	**0.169 a**
Gluticid	30.2 b	5.1 b	442.4 c	14.4 b	30.4 c	0.112 d
Control	27.1 c	4.2 c	317.4 d	12.3 c	27.6 d	0.148 c
ESx	0.74 ns	0.20	0.01	0.63	1.93	0.01

Letras iguales no difieren significativamente, según prueba de Duncan p<0.01. ns: es no significativo

incremento del rendimiento; sin embargo, la mayor MF de las mazorcas se alcanzó con la aplicación del Fitomás-EC solo.

Letras iguales no difieren significativamente, según prueba de Duncan p<0.01

Tabla 8. Efecto de Fitomás -EC y su combinación con Gluticid en el rendimiento fresco y seco del maíz *(var. Diamante),* a los 92 DDS

Tratamientos	Rendimiento agrícola (t ha^{-1})
Fitomás -EC	3.64 b
Fitomás -EC+Gluticid	**4.77 a**
Gluticid	2.70 c
Control	2.35 c
ESx	0.12

Letras iguales no difieren significativamente, según prueba de Duncan p<0.01

De las variables evaluadas, resultaron superiores la longitud y el diámetro de las mazorcas en el tratamiento con Fitomás -EC solo; sin embargo, resultaron más favorecidos el número de granos por mazorca y el peso de un grano, bajo la combinación de ambos bioproductos.

Finalmente, según los resultados descritos, el rendimiento agrícola fue superior en el tratamiento en el que se combinaron ambos bioproductos. Se comprobaron, de forma visual, niveles de presencia muy bajos por planta del minador de la hoja, con respecto al resto de los tratamientos aplicados, lo cual indica un mayor impacto de la nueva formulación que actúa como biocontroladora. (7)

EXPERIMENTO 2. Efecto del Fitomás-EC y su combinación con el Gluticid en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.).

Tabla 9. Respuesta de las plantas a las afectaciones producidas por el Tizón temprano, en función de los bioproductos aplicados

Tratamientos	Variedad 2E	Variedad Eclat	Variedad 57 E	Variedad Memphis
Fitomás-EC	2.4	3.1	2.9	2.3
Fitomás-EC+Gluticid	**2.2**	**2.2**	**3.2**	**2.2**
Control	2.4	2.4	2.8	3.0
ESx	0.26 ns	0.37 ns	0.27 ns	0.24 ns

Letras iguales no difieren significativamente, según prueba de Duncan p<0.01. ns: es no significativo.

En la tabla 9, los resultados reportados demuestran el porciento de afectación producido por el Tizón temprano, debido a la *Alternaria Solani*, en los tratamientos aplicados a las variedades de papa, a los 54 días después de la plantación (DDP).

Se puede apreciar, con excepción de la var. 57 E, el impacto protector de la aplicación combinada de ambos bioproductos; y como respuesta, una mayor resistencia del cultivo.

Los resultados referidos a la masa de los tubérculos por planta (tabla 10), demostraron que la

Tabla 10. Efecto del Fitomás-EC y su combinación con el Gluticid en la masa de los tubérculos por planta

Tratamientos	Masa (kg)			
	Variedad 2E	Variedad Eclat	Variedad 57 E	Variedad Memphis
Fitomás -EC	0.46 a	0.44a	0.36	0.46a
Fitomás -EC + Gluticid	0. 27 b	0.47a	0.42	0.28b
Control	0.24 b	0.30 b	0.34	0.28 b
ESx	0.02	0.04	0.01 ns	0.02

Letras iguales no difieren significativamente, según prueba de Duncan p<0.01. ns: es no significativo.

variedad Eclat y 57 E se favorece con la combinación del Fitomás-EC+Gluticid, mientras que la var. 2E y Memphis responde, de manera satisfactoria, cuando se aplica Fitomás-Ec solo.

Finalmente, cuando se analizan los datos del rendimiento agrícola (tabla 11), resalta el efecto de

Tabla 11. Efecto del Fitomás -EC y su combinación con el Gluticid en el rendimiento de variedades de papa

Tratamientos	Rendimiento (t ha^{-1})			
	Variedad 2E	Variedad Eclat	Variedad 57 E	Variedad Memphis
Fitomás -EC	15.3 a	14.6 a	11.9	15.3a
Fitomás -EC + Gluticid	8.9 b	**15.6 a**	**13.9**	9.33b
Control	7.9 b	9.9 b	11.3	9.33b
ESx	0.88	0.60	1.4 ns	0.72

Letras iguales no difieren significativamente, según prueba de Duncan p<0.01. ns: es no significativo.

la sola aplicación del Fitomás-EC en dos variedades, en las que se incrementa el rendimiento en 93 % (var. 2E) y 63 % (var. Memphis). Por otro lado, la combinación de ambos productos incrementa al 57 % el rendimiento de la var Eclat y de la var. 57 E.

CONCLUSIONES

1. El impacto de la acción combinada Fitomás-EC+Gluticid, bajo las dosis aplicadas, demostró en el caso de la variedad del maíz estudiada, mejores resultados en las evaluaciones referidas a: crecimiento (altura de las plantas), el análisis de los componentes del rendimiento por superficie (mayor número de mazorcas por parcela), el número de granos por mazorca, el peso de un grano y finalmente, el impacto de la aplicación combinada duplica el rendimiento con respecto al control y mejora el impacto del resto de los productos aplicados por separado.

2. Se comprueba además una mayor resistencia en el cultivo del maíz ante la presencia del minador de hoja, bajo la combinación de ambos productos.
3. En los estudios referidos a las variedades de papa, se demostró que la aplicación combinada del Fitomás-EC+Gluticid disminuye el grado de afectación producido por el tizón temprano, en las variedades 2E, Eclat y Memphis y resultó más efectivo el Fitomás-EC solo en la variedad 57 E. Por otro lado, la masa de tubérculos por planta se vio favorecida por la aplicación del Fitomás-EC solo, a excepción de la variedad Eclat, a la que la combinación de ambos bioproductos causó un mayor efecto.
4. Cuando se analizan los datos del rendimiento agrícola en las cuatro variedades de papa, resalta el efecto de la sola aplicación del Fitomás -EC en dos variedades, en las que se incrementa el rendimiento en 93 % (var 2E) y 63 % (var Memphis). Por otro lado, la combinación de ambos productos incrementa al 57 % el rendimiento de la var Eclat y también supera el rendimiento de la var.57 E.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Gleibis, A., Rosell, R. Evaluación del bioestimulante FitoMas-E en el rendimiento agroproductivo del cultivo del frijol. REDEL. Revista Granmense de Desarrollo Local. Vol.1 No.3, octubre-diciembre 2017. RNPS: 2448.
2. Evaluación agronómica de FITOMAS-EC en el cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum* L. Daniel) para campo abierto. Informe Técnico: Validación 2020.
3. Terry-Alfonso E., *et al.* Respuesta agronómica del cultivo de frijol a los bioproductos Fito-Más-EC® + Gluticid®**.** Rev. ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar, Vol.55, No.3, pp 49-54.
4. Ronnie G., Martinez-Coca, B. Eficacia de dos biofungicidas para el manejo en campo del Tizón temprano (*Alternaria solani* Sorauer) de la papa (*Solanum tuberosum* L.). *Rev. Protección Veg.* [online]. 2019, vol.34, no.1, e09. Epub 01-Abr-2019. ISSN 1010-2752.
5. Leónides C., *et al*. Ensayos con el producto biológico Gluticid para el control de *Alternaria solani* y *Cladosporium fulvum* en el tomate en casas de cultivo protegido. FITOSANIDAD vol. 9, no. 2, junio 2005.
6. Almandoz, J.: «Evaluación de nuevos fungicidas de origen químico y biológico para el control del tizón temprano, causado por *Alternaria solani* Sorauer, en el cultivo del tomate». Tesis en opción al grado académico de Máster en Protección de Plantas, Universidad Agraria de La Habana, 2001.
7. Stefanova, M.; *et al*. Eficacia de un nuevo fungicida biológico para el control de enfermedades en cultivos de importancia económica. Resúmenes. IV Seminario Científico de Sanidad Vegetal OICB, Sección Regional Neotropical, Cuba, 2001, p. 150.

Procedimiento para la optimización de mermas del proceso de añejamiento de rones

Beatriz García-Castellanos[1]*; Osney Pérez-Ones[2]; Lourdes Zumalacárregui-de Cárdenas[2] e Idania Blanco-Carvajal[1]
1. 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
2. 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
* beatriz.garcia@icidca.azcuba.cu

RESUMEN

El proceso de añejamiento del ron experimenta mermas de volumen, denominadas mermas. Las variables de operación, registradas en bases de datos, contienen información valiosa para estudiar el proceso. De investigaciones anteriores se cuenta con un modelo de redes neuronales artificiales, para la predicción de mermas, en la etapa de añejamiento en bodegas, en función de las variables medidas, así como un modelo de regresión, ambos con alta significación estadística. En la presente investigación se propone un procedimiento para aunar ambos modelos y lograr la optimización del sistema con el empleo de algoritmos evolutivos, como método de optimización global de las funciones de costo. Tanto la implementación del procedimiento como su solución son objetivos de trabajos futuros. Se pretende, con los resultados de la minimización de la variable de interés, establecer un porcentaje máximo admisible de mermas en volumen, durante el proceso de añejamiento, para las roneras del grupo empresarial AZCUBA.
Palabras clave: añejamiento de rones, mermas, Redes neuronales artificiales, algoritmos evolutivos, optimización.

ABSTRACT

The rum aging process experiences volume losses, called wastage. The operation variables, recorded in databases, contain valuable information to study the process behavior. From previous research, there is an artificial neural network model for the prediction of losses in the aging stage in cellars, based on the variables measured, as well as a regression model, both with high statistical significance. In the present investigation, a procedure is proposed to combine both models and achieve the optimization of the system using evolutionary algorithms as a method of global optimization of the cost functions. Both the implementation of the procedure and its solution are objectives of future work. It is intended, with the results of the minimization of the variable of interest, to establish a maximum admissible percentage of losses in volume during the aging process for the rum factories of the AZCUBA business group.
Key words: rum aging, volume losses, artificial neural networks, evolutionary algorithms, optimization.

INTRODUCCIÓN

El proceso tecnológico de producción del ron Añejo que se lleva a cabo en un área de producción de rones *Premium,* perteneciente al Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), comprende varias etapas (1). Durante el proceso de añejamiento del ron se producen mermas del producto. El añejamiento del ron no cambia ni transforma la bebida sino que desarrolla y sublima sus cualidades latentes. Es por ello que, en el contexto de excelencia en que

compiten estas bebidas, surge el interés por estudiar y minimizar la merma en el volumen del ron, durante su añejamiento, en relación con las condiciones ambientales existentes en la solera. En el mundo, el valor medio de mermas que se considera para toneles de 180 litros es del 10 % del volumen almacenado; sin embargo, la literatura señala para los países del Caribe un 13 % de mermas anuales (2), por ejemplo en Jamaica se reporta un 6 % de mermas (3). En un trabajo realizado en las soleras de la ronera de Cárdenas, entre los años 1985 y 1986, se corroboró una merma de 10.5 % anual. No se han encontrado reportes recientes del valor de estas mermas en Cuba.

La tecnología en las bodegas del ICIDCA permitió llevar a cabo un estudio del comportamiento de las mermas durante 13 meses de añejamiento; se realizaron mediciones del nivel del líquido de los toneles, grado alcohólico, temperatura y humedad. Toda esta memoria almacenada resultó útil en la comprensión del comportamiento del proceso, sus variables más importantes y la obtención de modelos para predecir el porcentaje de mermas en volumen, en el proceso de añejamiento del ron. Además, se evaluaron desde el punto de vista económico, las mermas correspondientes al período de estudio y resultaron superiores a las permitidas en normas internacionales. El conocimiento contenido y aplicado en estas técnicas de análisis de datos podría establecer una ruta para minimizar el porcentaje de mermas en el proceso de añejamiento del ron, por lo que se propone un procedimiento para optimizar las variables más influyentes en este proceso.

MATERIALES Y MÉTODOS

En investigaciones anteriores se empleó el software StatgraphicsCenturion XVll.2 para estudiar las posibilidades de modelar el proceso con el empleo de la regresión. Este modelo presentó valores de error cuadrático medio (ECM), R^2 y Cp de 0.115; 95.88 % y 3.32, respectivamente (4). Además, se utilizó el software MATLAB 2017 para estimar las mermas en volumen. En la modelación del proceso de añejamiento del ron se utilizó la Red neuronal perceptrón multicapa con dos capas ocultas, del tipo alimentación hacia adelante y propagación hacia atrás (feed-forward backprop). La topología seleccionada presenta la estructura 6-4-4-1, con un ECM de $2.1 \cdot 10^{-3}$ y un factor de correlación (R) con los datos experimentales de 0.998 (5).

En un primer acercamiento a la optimización de las condiciones medioambientales de la bodega, para un máximo admisible determinado se empleó el algoritmo de Búsqueda aleatoria e, igualmente, se realizó en el software MATLAB 2017. Para ello se fijaron variables del modelo neuronal y se generaron valores aleatorios de mermas. Se obtuvo un valor de mermas de 0.0065 litros para condiciones de temperatura y humedad relativa de 36.93 °C y 68.96 %, respectivamente. El resultado anterior no constituye un mínimo local de las variables respuesta, al no estar evaluado en toda el área que comprende la función (6).

La optimización estructural se realiza, usualmente, de modo determinista. Esta optimización consiste en minimizar la función de costo J(X) sujeta a condiciones deterministas de igualdad (ecuación 1). Simbólicamente esto se expresa como:

minimizar $J(\vec{X})$

sujetoa $f_1(\vec{X}) < F_1; f_2(\vec{X}) < F_2$ (Ec.1)

En esta ecuación, X es el vector de las variables de diseño, las fi(X) son respuestas del sistema que dependen de estas variables y Fi son condiciones impuestas a estas respuestas (ecuación 2). Si se modelan estas incertidumbres y se hace uso de la teoría de probabilidades, esta optimización se convierte en:

minimizar $J(\vec{X})$

$$\text{sujeto a} P[f_1(\vec{X}) > F_1] \leq P_1; P[f_2(\vec{X}) > F_2] \leq P_2 \qquad \text{(Ec. 2)}$$

Donde P [A] es la probabilidad del evento aleatorio A y las P son máximos valores admisibles para las probabilidades de falla. Esta optimización estocástica de sistemas involucra, en consecuencia, los siguientes pasos:

- Definición probabilística de las variables que intervienen en el sistema.
- Representación del comportamiento del sistema, mediante el uso de un modelo matemático adecuado que incluya, a su vez, la evaluación de las condiciones del modelo.
- Encontrar la mejor configuración para este sistema, de tal modo que se minimicen las funciones objetivo, que representan los criterios a optimizar y se respeten las condiciones impuestas (7).

Los algoritmos evolutivos (AE) son algoritmos que trasforman poblaciones de objetos numéricos individuales en nuevas poblaciones con operaciones inspiradas en la genética y la evolución de las especies (principios de la selección natural), tales como la regla darwiniana de sobrevivencia y reproducción de los más fuertes.

Los AE son un método de optimización muy robusto, eficiente y convergente. A dos principales características se les atribuye este hecho.

- Los AE tienen un patrón distintivo de búsqueda en el espacio objetivo: en vez de una búsqueda punto a punto, el conjunto de búsqueda se expande a un grupo en el cual un punto de búsqueda se mueve entre picos; por tanto, se incrementa la probabilidad de encontrar una solución cercana a la posición del óptimo global.
- El uso de funciones objetivo y de condiciones no requiere el uso de gradientes u otro conocimiento auxiliar. En consecuencia, la búsqueda con AE no está restringida a condiciones de continuidad, no linealidad o convexidad de la función objetivo o las condiciones (8).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el enfoque presente se utilizan las redes neuronales artificiales (RNA) para representar el comportamiento del sistema, se emplean como un sustituto en la evaluación del modelo numérico. Esto se combina con Algoritmos evolutivos (AE), como método de optimización global de las funciones de costo, al tener en cuenta las condiciones probabilísticas, debido a su versatilidad para trabajar con funciones implícitas, de manera que no se hace necesario conocer ni estimar su gradiente.

Para el procedimiento que se propone se siguieron los pasos en el diseño del AE:

- Selección del AE y ajuste de sus parámetros. Existen dos tipos principales de AE: las estrategias evolutivas (EE) y los Algoritmos genéticos (AG). De cada uno de ellos existen variantes y fusiones ideadas para mejorar su desempeño en problemas de optimización uni-multiobjetivo con condiciones y sin ellas.
- Determinación de los valores de las variables de diseño. Una vez definido el problema de optimización (variables de diseño, funciones objetivo a minimizar y condiciones), se procede a utilizar el AE seleccionado. Como primera medida, las variables de diseño adoptan unos valores iniciales (que pueden establecerse *a priori* o aleatoriamente), que son codificadas según las necesidades del algoritmo (codificación real o codificación binaria). Las variables de diseño son optimizadas simultáneamente para que todas las configuraciones encontradas sean idóneas, según el problema. Luego se codifican los nuevos individuos, valores de las variables resultantes de la primera optimización y se evalúa la aptitud de cada uno (la cual representa la adaptabilidad del individuo al medio), calculada sobre la base de la función objetivo y en la medida de violación de las condiciones. En el método propuesto se emplea la RNA seleccionada, como sustituto del modelo original para el cálculo de las condiciones probabilísticas.

Cada individuo es seleccionado según su aptitud en el medio de acuerdo con el algoritmo evolutivo utilizado. Se supone que los individuos con una aptitud alta tienen mayores posibilidades de reproducirse y pasar sus características a la siguiente generación. Así pues, se forma un banco de apareamiento que es una población intermedia, que será sujeta a combinación. De este banco se seleccionan, aleatoriamente, individuos que intercambian sus codificaciones según un patrón de combinación definido; de tal modo que se generan nuevas descendencias que, posteriormente, son sujetas a mutación. Los nuevos individuos están sujetos a mutación de algunos genes, con el objetivo de evitar la merma potencial de material genético de los procesos de selección y combinación, para prevenir el llamado desvío genético.

Una variante de los AE que mejora significativamente el desempeño del algoritmo es el elitismo, que consiste en que el mejor individuo entre padres e hijos pasa a la siguiente generación intacto, sin ser alterado por la mutación (7).

Una vez que se ha formado la nueva generación, esta se convierte en la nueva población de padres, a los cuales se les evaluará su aptitud y serán sometidos a las operaciones de selección, combinación y mutación nuevamente. Esto se hará hasta que cumpla algún criterio para finalizar la ejecución del algoritmo; por ejemplo, que se alcance el número máximo de generaciones o que, después de algún número definido de generaciones, no se haya alcanzado un nuevo éxito.

Se propone una simbiosis de los algoritmos evolutivos como técnica de minimización de la función de costo y las redes neuronales como método de cálculo de las probabilidades de falla, que constituyen las restricciones de las minimizaciones.

Caso de estudio

El enfoque del procedimiento anterior permite aplicar la optimización de las mermas en volumen de ron durante el proceso de añejamiento en bodegas. Las variables ambientales: temperatura y humedad relativa presentan el comportamiento aleatorio, que cumplen con una distribución normal.

Se empleará el modelo de regresión para la variable mermas que se muestra (ecuación 3); obtenido por García *et al*. (4), en función del mes numérico para el estudio, volumen medido y tiempo de añejamiento en cada tonel, que constituyen otras variables influyentes.

$$Mermas = -1.28 * Mes\ numérico - 0.18 * Volumen + 9.76 * Tiempo\ de\ añejamiento \quad \text{(Ec. 3)}$$

De implementarse esta ruta, se prevén resultados significativos a corto plazo, se obtendrán valores locales o, en el mejor de los casos; globales, para un mínimo de mermas en función de los valores óptimos de las variables ambientales: temperatura y humedad. Estos resultados podrían influir en los cambios físicos y tecnológicos que habría que implementar en la bodega de añejamiento para cumplir con estos valores, así como su factibilidad económica, lo que permitiría oficializar las mermas admisibles para las roneras de AZCUBA.

CONCLUSIONES

- Se propone un procedimiento para lograr la optimización, de manera conjunta, de los modelos de redes neuronales artificiales y de regresión, representativos del proceso de añejamiento de rones para la variable mermas, con algoritmos evolutivos.
- La aplicación del procedimiento propuesto permitirá establecer un porcentaje máximo admisible de mermas en volumen de añejamiento de ron, para las roneras del Grupo Empresarial AZCUBA.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Control de producción y trazabilidad, (2017).
2. Boscolo M, S LNB, W FD. Envelhecimento de aguardente de cana-de-açucar em tonéis de madera. Engarrafador Moderno. 1995, 6, 41, 30.
3. J. Marcano, (2019, Septiembre 15). El ron. Tradición en Las Antillas [Online]. Available: https://mipais.j,marcano.com/economia/ron.html.
4. García, B.; Pérez, O.; Zumalacárregui, L.; Blanco, I.; López, L.E. Análisis y modelación estadística del proceso de añejamiento de rones en una ronera cubana. *ITECKNE*, 2020, Vol. 17, No. 2, pp. 91 -109. doi: https://doi.org/10.15332/iteckne.v17i2.2468.
5. García, B.; Pérez, O.; Zumalacárregui, L.; Blanco, I.; López, L.E. Neural model for the prediction of volume losses in the aging process of rums.*Revista Facultad de Ingeniería*, 2020, Vol. 29, No. 54, e10514.
6. García, B.; Pérez, O.; Zumalacárregui, L.; Blanco, I.; López, L.E. Uso de redes neuronales artificiales para la predicción de mermas en el proceso de añejamiento de rones. Memorias del Congreso Internacional sobre azúcar y derivados DIVER 2019, Hotel Nacional de Cuba, 24-28 de junio 2019.
7. Hurtado, J.; Álvarez, D. Optimización basada en confiabilidad por medio de redes neuronales y algoritmos evolutivos. Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño de Ingeniería, 2002, Vol. 18, No. 4, pp. 573-593.
8. G. C. S. Lee y Chin-Teng Lin, Neural Fuzzy Systems, Prentice Hal, EE.UU. (1996).

Estudios cinéticos, de equilibrio y termodinámicos para la recuperación de potasio en zeolita natural del yacimiento San José del Chorrillo

Massiel González-Torres[1, 2], Mario A. Martínez-García[1], José M. País-Chanfrau[3], Ileana Pereda-Reyes[1] y Ania Cabrera-Díaz[1]*
1. Centro de Estudio de Ingeniería de Procesos (CIPRO), Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cujae. Calle 114, No. 11901 e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao. La Habana, Cuba.
2. Havana Club International Ronera San José. Carretera central, km 38 ½. Mayabeque, Cuba.
3. Universidad Técnica del Norte. Ibarra. Ecuador.
*ania@quimica.cujae.edu.cu

RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo evaluar la recuperación de potasio, a partir de soluciones modélicas, con la utilización de zeolita del yacimiento San José del Chorrillo como intercambiador iónico. Los estudios se realizaron en sistema discontinuo. Para describir el proceso de intercambio iónico se realizaron estudios cinéticos y de equilibrio y se evaluó la influencia de diferentes tamaños de partículas (0.5 – 2.7 mm) (I) y (0.25 – 1.6 mm) (II) y el pH. Los principales resultados indican que el pH y el tamaño de partícula tienen influencia en la capacidad de intercambio iónico máxima y es el tamaño de partícula (I) el más favorable para el intercambio. La capacidad máxima de intercambio fue de 36.53 mg g^{-1}, a pH 7 y tamaño de partícula de 0.5 – 2.7 mm. En el estudio termodinámico se obtuvieron las mayores capacidades de intercambio (42.91 mg g^{-1}) a pH 7, temperatura de 50 °C y tamaño de partícula de 0.5 – 2.7 mm.
Palabras clave: intercambio iónico, potasio, soluciones modélicas, vinazas, zeolita.

ABSTRACT

The objective of this work is to evaluate the recovery of potassium from model solutions, using El Chorrillo zeolite as an adsorbent material. The studies were carried out in a discontinuous system. To describe the ion exchange process, kinetic and equilibrium studies were carried out evaluating the influence of different particle sizes (0.5 - 2.7 mm) (I) and (0.25 - 1.6 mm) (II) and pH. The main results indicate that the pH and the particle size have influence on the maximum ion exchange capacity, with the particle size I the most favorable for the exchange. The maximum ion exchange capacity was 36.53 mg g^{-1} at pH 7 and particle size of 0.5 - 2.7 mm. In the thermodynamic study the highest exchange capacity were obtained (42.91 mg g^{-1}) at pH 7, temperature of 50 °C and particle size of 0.5 – 2.7 mm.
Key words: ion exchange, model solutions, potassium, vinasse, zeolite.

INTRODUCCIÓN

Actualmente en Cuba se trazan e implementan estrategias de economía circular que permiten la transición de modelos productivos agresivos con el ambiente hacia modelos alternativos sostenibles. Las soluciones hacia la recuperación del agua, como recurso natural y el mejoramiento en la disposición final de residuales, cada día toma mayor interés. Dentro de la agroindustria azucarera y de derivados se reconoce el potencial que poseen los residuales que se generan, como fuentes para la producción de energía renovable y la obtención de biofertilizantes líquidos y sólidos.

Las vinazas de destilería se destacan como las más contaminantes dentro de las aguas residuales, producidas por los complejos productores de azúcar y etanol. Estas poseen un elevado potencial contaminante, debido a su contenido de materia orgánica; además, se generan a razón de 9 y hasta 20 L L^{-1} de etanol destilado, a elevadas temperaturas (80 - 90 °C) y bajos valores de pH, entre 3.5 y 5 (1). Un aspecto de relevante interés es el contenido de potasio presente en las vinazas de caña de azúcar (1, 2).

En Cuba se reportan concentraciones de potasio en las vinazas generadas en las destilerías, desde 1.5 hasta 5.0 g L^{-1} (1 - 3). En este sentido, se conoce que el potasio (K), es un recurso esencial para la agricultura, pues constituye un elemento importante para las plantas y se considera un significativo nutriente junto con el nitrógeno (N) y el fósforo (P) (4). Por tal razón, valorar la exploración de fuentes alternativas de potasio, es un reto para la comunidad científica mundial.

El empleo de la vinaza cruda o tratada biológicamente, como fertilizante, es una temática de interés, pues mejora las condiciones físicas, químicas y microbiológicas del suelo, además de aportar al suelo los nutrientes necesarios, específicamente potasio (5). En Cuba, más del 60 % de las vinazas originadas en las destilerías se utilizan en el fertirriego (1). Sin embargo, cuando se utiliza para este fin, la cantidad de vinaza suministrada no debe exceder la capacidad de retención de iones del suelo. Se reporta que la aplicación de vinaza cruda en las plantaciones de caña de azúcar puede causar problemas, incluyendo la lixiviación de nutrientes y metales pesados en las aguas subterráneas, salinización del suelo y el agua, desequilibrio de nutrientes del suelo y fitotoxicidad (6, 7).

Pocos estudios se refieren al empleo del intercambio iónico para la recuperación de potasio, a partir de vinaza cruda o biodigerida. Ping-Jun (8) y Torres-Gaviria *et al.* (9), reportan el uso de resinas de intercambio catiónico fuerte con este propósito. No obstante, esta alternativa debe ser valorada con atención, debido al alto costo asociado a estos productos, los reactivos empleados en su regeneración; así como los procesos inherentes para lograr la posterior cristalización del potasio extraído.

Concerniente a los procesos de intercambio iónico, las zeolitas naturales son materiales efectivos y económicos con gran disponibilidad y selectividad por cationes que las convierten en materiales convenientes para este propósito (10). En consecuencia, con ello, en la última década, en el Centro de Estudios de Ingeniería de Procesos (CIPRO), se han realizado estudios de intercambio iónico para recuperar potasio, a partir de soluciones modélicas, vinaza cruda, biodigerida y ozonizada; en zeolitas naturales y modificadas tipo clinoptilolita provenientes del yacimiento de Tasajeras (1). Los principales resultados referentes a ello, muestran que es posible alcanzar capacidades de intercambio iónico desde de 40 hasta 90 mgK^+ g^{-1}; según la calidad del efluente a procesar y el tipo de modificación realizado a la zeolita.

Otras investigaciones sobre este proceso se realizan con el objetivo de saturar la zeolita con sales de potasio para la obtención de un fertilizante potásico, a partir de soluciones de KCl y KNO_3 (11). En este último se obtuvieron capacidades máximas de intercambio de 32 mgK^+ g^{-1}.

Dentro de los principales yacimientos de zeolitas cubanos, se destacan los yacimientos Tasajeras (Clinoptilolita - Heulandita) y San José del Chorrillo (Clinoptilolita- Mordenita) (12); los estudios referidos a la recuperación de potasio se concentran en el yacimiento Tasajeras (1). Debido a la búsqueda de otras fuentes de intercambiadores iónicos para la recuperación de potasio y poder disminuir las concentraciones generadas en los efluentes, por la agroindustria azucarera y de derivados, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar la recuperación de potasio, a partir de soluciones modélicas, con zeolita natural del yacimiento San José del Chorrillo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El intercambiador iónico empleado para lograr la recuperación del potasio, en las soluciones modélicas, fue la zeolita cubana, procedente del yacimiento San José del Chorrillo o El Chorrillo,

ubicado en la provincia de Camagüey, su composición química se muestra en la tabla 1. Esta zeolita responde al tipo de zeolita I, de acuerdo con la clasificación de la norma cubana por su contenido en zeolita y capacidad de intercambio catiónico con la fase predominante (Clinoptilolita-Modernita), indica la Norma cubana (13).

Tabla 1. Composición química (porcentaje en peso) de la zeolita del yacimiento San José del Chorrillo

Elementos	SiO_2	Al_2O_3	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	Fe_2O_3
Composición química (Porcentaje)	58.94	11.91	0.96	6.71	1.56	1.14	2.3

Se evaluaron 2 tamaños de partículas, una primera muestra de (0.5 – 2.7 mm) (I) y otra de (0.25 – 1.6 mm) (II). El diámetro superficial volumétrico medio de partícula se determinó mediante la ecuación de Reboux Sauter (14).

Estudios realizados en sistemas discontinuos con la utilización de soluciones modélicas

Para todos los estudios realizados, la zeolita fue previamente lavada con agua destilada y secada en estufa a 65 ºC, por 24 h. La solución modélica (SM) se preparó a partir de cloruro de potasio (grado analítico) (K^+ 3 g L^{-1}). Para el ajuste del pH de las soluciones modélicas se emplearon soluciones de NaOH y HCl, con concentraciones de 0.1 mol L^{-1}. Los estudios cinéticos y de adsorción (isotermas de adsorción) se realizaron por duplicado y en sistema discontinuo, en Erlenmeyer de 250 mL, se empleó agitación a 150 min^{-1} en zaranda IKA-WERKE y la temperatura se mantuvo constante alrededor de 26 ± 1 ºC. Los estudios termodinámicos se realizaron en la zaranda termostatada FLY-111B. En todos los casos, transcurrido el tiempo previsto, cada muestra fue filtrada y diluida para determinar las concentraciones de potasio por fotometría de llama. Los parámetros y constantes de los modelos cinéticos y de equilibrio se ajustaron, de acuerdo con los resultados obtenidos en la experimentación, se minimiz***ó*** la función de error no lineal (Suma de las desviaciones de los cuadrados (SDC)); entre los valores experimentales y los predichos por los modelos (ecuación 1), mediante la herramienta Solver de Excel.

$$\sum_{i=1}^{p}(q_{e,\ exp} - q_{e,\ cal})_i^2 \qquad \text{Ec. 1}$$

Estudio cinético

El estudio cinético se realizó bajo un diseño de experimento 2^2, se evaluó la influencia de dos tamaños de partícula (I y II) a dos valores de pH (4 y 7). Se colocaron 2.5 g de zeolita en Erlenmeyer con 100 mL de la SM, para diferentes tiempos de exposición. Se evaluaron los modelos cinéticos: pseudoprimer orden o ecuación de Lagergren y pseudosegundo orden.

El modelo de pseudoprimer orden o ecuación de Lagergren, se emplea para describir las velocidades de adsorción, basada en la capacidad de adsorción, a partir de la concentración de la solución, apunta (15), y se representa por la ecuación 2.

$$q_t = q_e\left(1 - e^{-k_1 t}\right) \qquad \text{Ec. 2}$$

Donde: k_1 = constante de adsorción de Lagergren (h^{-1}), q_e = cantidad de iones adsorbidos en equilibrio (mg g^{-1}) y q_t = cantidad de iones adsorbidos en cualquier momento dado t (mg g^{-1}).

El modelo cinético de pseudosegundo orden, se basa en la capacidad de sorción en el equilibrio, y se representa, según ecuación 3.

$$q_t = \frac{q_e^2\, k_2\, t}{1 + q_e\, k_2\, t} \qquad \text{Ec. 3}$$

Donde: k_2 = constante de velocidad de pseudosegundo orden para adsorción (g mg^{-1} h^{-1}), q_e = cantidad de ion adsorbido en equilibrio (mg g^{-1}) y q_t = cantidad de ion adsorbido en un momento dado t (mg g^{-1}).

A partir de los estudios cinéticos se determinó la velocidad de difusión (B) en s^{-1} y el coeficiente de difusión efectivo (D) en m^2s^{-1}, ambos relacionados con la difusión interna, a partir de curvas cinéticas normalizadas que muestran la relación de potasio por gramo de zeolita (Q_t) en el tiempo (t), dividido por los gramos de potasio en el equilibrio ($Q\infty$) como función del tiempo. Para determinar D se emplea el área (I_o) formada entre la curva de la cinética normalizada y sus asíntotas, que se define por la ecuación 4, donde r_o: se tomó como el radio medio de las partículas de la zeolita y el valor calculado de D se informa como coeficiente efectivo de difusión. La ecuación 5 se utilizó para determinar el valor de B (10).

$$I_0 = \int_0^\infty \left(1 - \frac{Q_t}{Q_\infty}\right) dt = \frac{D}{15\ {r_0}^2} \qquad \text{Ec. 4}$$

$$B = \frac{\pi^2 D}{{r_0}^2} \qquad \text{Ec. 5}$$

Estudios de equilibrio

Las isotermas de adsorción de potasio se realizaron bajo un diseño de experimento $2^1 \cdot 3^1$, y se evaluó la influencia de dos tamaños de partícula (I y II) a tres valores de pH (4. 7 y 9). Para ello, se pesaron masas de zeolitas entre 0.75 y 20 g. estas se pusieron en contacto con la SM bajo estudio; con agitación por 24 horas. A partir del comportamiento de los datos experimentales se ajustó la isoterma de Langmuir y Freundlich.

La isoterma de Langmuir se puede escribir como se muestra en la ecuación 6 (17).

$$q_e = \frac{q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e} \qquad \text{Ec. 6}$$

Donde, q_e es la cantidad de soluto adsorbido por unidad de masa de adsorbente en equilibrio (mg g^{-1}), q_m es la cantidad de soluto adsorbido por unidad de masa de adsorbente correspondiente a la cobertura completa de los sitios disponibles (mg g^{-1}), C_e es la concentración de fase líquida residual en equilibrio (mg L^{-1}), K_L es el coeficiente de adsorción de Langmuir, esta constante está relacionada con la afinidad entre el adsorbente y el soluto (L mg^{-1}).

El modelo de adsorción Freundlich se expresa en la ecuación 7:

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \qquad \text{Ec. 7}$$

Donde: K_F (mg g^{-1}), la constante isoterma de Freundlich es un indicador aproximado de la capacidad de adsorción y 1/n es un parámetro empírico relacionado con la intensidad de sorción, que varía con la heterogeneidad del material. K_F y n son características del sistema sorbato-sorbente. El valor más alto para K_F indica una afinidad más alta para el adsorbato y el valor del parámetro empírico 1/n se encuentra entre $0.1 < 1/n < 1$, lo que indica una adsorción favorable (18).

Estudio termodinámico

Con el objetivo de determinar los parámetros termodinámicos y el efecto de la temperatura en el proceso de intercambio iónico, el experimento se realizó en una zaranda termostatada, a diferentes temperaturas (25, 40, 50 °C). Para ello se pusieron en contacto 100 mL de SM a pH 7 con diferentes

masas de zeolita (0.75 g a 20 g), con empleo de tamaño del partícula de zeolita I (0.5 – 2.7) mm. Los datos experimentales se ajustaron a las isotermas de Langmuir y Freundlich.

Métodos analíticos

Los ensayos analíticos se realizaron según los métodos normalizados para el análisis de aguas y aguas residuales (19). El potencial de hidrógeno (pH) (4500-H^+ B), con el empleo de un pHmetro CRISSON PH 25 y concentración de potasio (K^+) (3500-K D), por fotometría de emisión de llama con el fotómetro Corning 410.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estudios cinéticos y de equilibrio en el intercambio iónico

Mediante la ecuación 8 se calcularon las concentraciones de potasio en la fase sólida, tanto para los experimentos cinéticos como los de equilibrio de intercambio iónico en discontinuo.

$$q_e = \frac{V}{M}(C_0 - C_e) \qquad \text{Ec. 8}$$

Donde, V es el volumen inicial de la solución (L), M es la masa de zeolita (g), C_0 y C_e son las concentraciones iniciales y de equilibrio del soluto, respectivamente (mg L^{-1}) y q_e es la concentración de potasio en la fase sólida (mg g^{-1}).

Ensayos cinéticos de adsorción

Los ensayos cinéticos se llevaron a cabo con el objetivo de definir la velocidad a la que se alcanza el equilibrio en el sistema SM-zeolita. En la figura 1 se aprecian los milígramos de K^+ retenidos por gramo de zeolita como una función del tiempo (qe vs t), obtenidos en los experimentos cinéticos, para cada tipo de tamaño de partícula y de pH estudiado.

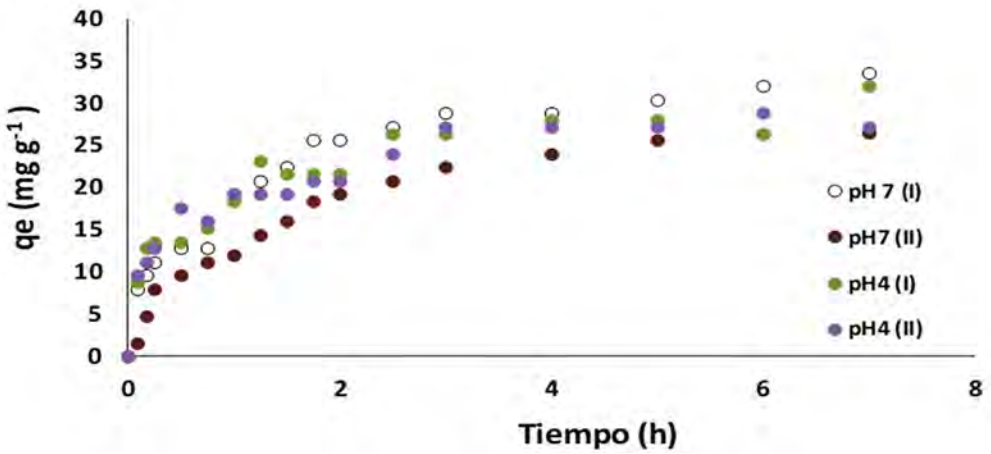


Figura 1. Cinética de intercambio iónico, zeolita natural, pH 7 y 4, tamaños de partícula I y II.

Se observa una primera etapa que se caracteriza por un incremento relativamente rápido de la capacidad de sorción, propio de las primeras horas de contacto, mientras que la segunda etapa se caracteriza por una sorción lenta, resultados que se corresponden con lo reportado en la literatura (20).

En la tabla 2 se aprecian los parámetros de velocidad de los modelos cinéticos evaluados para valores de pH 4 y 7, y para ambos tamaños de partículas (I y II). Los resultados muestran que el modelo de pseudosegundo orden tiene un mejor ajuste y este describe adecuadamente el proceso de intercambio iónico ocurrido. Lo anterior se corresponde con lo reportado en la literatura, la que plantea que el proceso de intercambio iónico en zeolitas es un proceso puramente difusivo de cationes intercambiados entre ambas fases y que está determinado por uno o varios de los siguientes procesos: difusión interna y externa. La difusion interna (difusión intracristalina) y la externa en la que se incluyen la difusión intrapartícula y la difusión en la película, a través de la fina capa de solución que rodea la partícula (10, 12).

Se evidencia que, con el ajuste de este modelo, se obtienen mayores valores de capacidad de sorción en el equilibrio (35.85 y 31.85 mg g^{-1}, para pH 7 y tamaños de partículas I y II, respectivamente).

Tabla 2. Parámetros de velocidad de los modelos cinéticos evaluados

Modelos cinéticos	Parámetros	Valores			
		SM pH 4 (I)	SM pH 4 (II)	SM pH 7 (I)	SM pH 7 (II)
Lagergren	k_1 (min^{-1})	0.0244	0.0322	0.0160	0.0116
	q_e (mg g^{-1})	26.76	24.81	30.90	26.10
	R^2	0.83	0.88	0.95	0.98
Pseudosegundo orden	k_2 (g mg^{-1} min^{-1})	0.0019	0.0026	0.0006	0.0004
	q_e (mg g^{-1})	27.21	25.28	35.85	31.85
	R^2	0.94	0.93	0.99	0.98

Se determinaron los valores de la constante de velocidad de difusión (B) y el coeficiente de difusión efectivo (D), relacionados con la difusión interna, a partir de curvas cinéticas normalizadas. A partir de estas curvas se graficó $(1 - Qt/Q\infty) vs\ Tiempo\ (h)$ (figura 2), se determinó el área bajo la curva (I_0), con el Método de los trapecios. Esta área se usó para determinar D por la ecuación 2, donde r_o es el radio medio de la partícula de la zeolita para el tamaño de partícula I ($5.8 \cdot 10^{-4}$ m) y para II ($6.2 \cdot 10^{-4}$ m). Los resultados se muestran en la tabla 3.

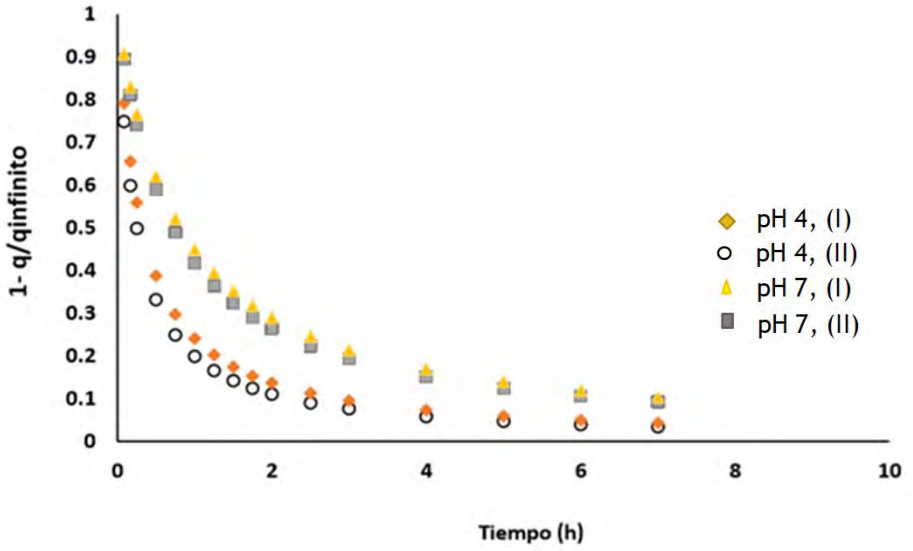


Figura 2. Gráfico $(1 - Qt/Q\infty)\ vs\ Tiempo\ (h)$.

Tabla 3. Coeficiente de difusividad efectivo y velocidad de difusión, pH 4 y pH 7, tamaños de partículas I y II

Condición	D ($cm^2\ s^{-1}$)	B (s^{-1})
pH 4 (I)	$1.63 \cdot 10^{-5}$	$3.76 \cdot 10^{-2}$
pH 4 (II)	$1.49 \cdot 10^{-5}$	$3.35 \cdot 10^{-2}$
pH 7 (I)	$2.06 \cdot 10^{-5}$	$5.89 \cdot 10^{-2}$
pH 7 (II)	$3.33 \cdot 10^{-5}$	$8.32 \cdot 10^{-2}$

De forma general, para sistemas en discontinuo, los coeficientes de difusión efectivos se encuentran en una media de valores de (0.01 y 5.7) 10^{-9} $cm^2\ s^{-1}$ (21). Valores en el mismo orden ($0.3 \cdot 10^{-9}$ $cm^2\ s^{-1}$) son reportados en la literatura cuando se emplea clinoptilolita natural en la retención de Pb^{2+} mientras que al ser modificada en forma de sodio, se obtienen valores entre (1.7 y 20.7) 10^{-9} $cm^2\ s^{-1}$, reportados por (22). Sin embargo, otros autores reportan valores superiores de coeficiente de difusión para la sorción de Cd^{2+} de (1.42 y 1.92) 10^{-8} $cm^2\ s^{-1}$ (23).

Los valores de coeficiente de difusividad, determinados en el presente trabajo, son superiores a los reportados por la literatura. Esto se debe, entre otros factores, al orden de selectividad que presenta la zeolita por los iones potasio. Este mismo comportamiento sucede con la velocidad de difusión, para la que se reportan valores superiores, en el orden de 10^{-4}, según describen (10) para una zeolita modificada en forma amónica.

Ensayos en equilibrio

Los ensayos de equilibrio se realizan con el objetivo de verificar la capacidad máxima de intercambio, se realizan las isotermas de adsorción de K^+ para cada tamaño de partícula estudiado (I y II) a los diferentes pH evaluados (4, 7 y 9). Para analizar el efecto de estas variaciones en la capacidad máxima de intercambio se realizó un diseño de experimento $2^1 \cdot 3^1$ por medio del Statgraphic Centurión Versión 15.2. Se puede observar que, con el tamaño de partícula I y pH 7, se obtienen mayores capacidades de intercambio que con el tamaño de partícula II y los pH 4 y 9 (figura 3).

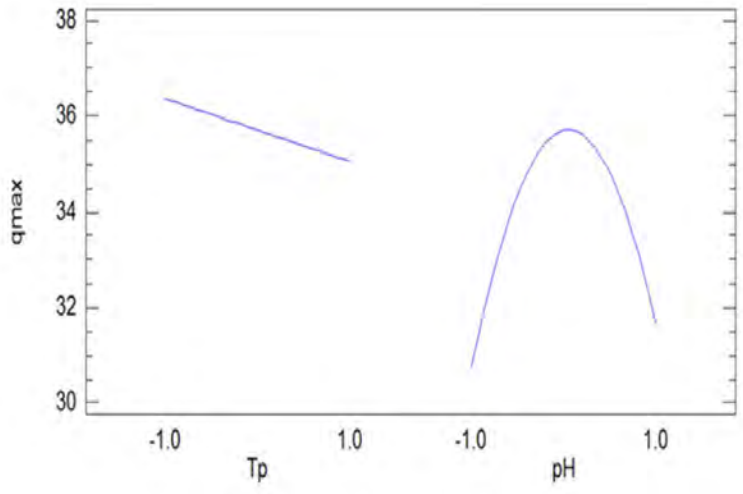


Figura 3. Influencia del tamaño de partícula y variaciones de pH sobre la sorción de K^+ en zeolita natural.

Esto concuerda con lo reportado en la literatura, en la que se plantea que con la disminución del tamaño de partícula se favorece el proceso de intercambio iónico. También el diámetro medio de partículas del tamaño I es menor al del tamaño II. Las capacidades de intercambio máximas oscilan

entre 29.36 y 36.53 mg g^{-1}. Estos resultados son inferiores a los reportados por Cabrera, (1); que utilizó una solución modélica de 3 g L^{-1} de potasio y, como material absorbente, zeolita con fase predominante (Clinoptilolita), procedente del yacimiento Tasajeras. Las capacidades máximas de intercambio obtenidas oscilaron entre 57 y 59 mg g^{-1}, lo que demostró que la zeolita del yacimiento Tasajeras tiene mayor capacidad de intercambio iónico que la zeolita del yacimiento El Chorrillo, con fase predominante (Clinoptilolita-Modernita).

La tabla 4 muestra los parámetros de cada modelo, ajustado al estudio de equilibrio (Langmuir y Freundlich). Se observa que el modelo de mejor ajuste fue el modelo de Langmuir, por los valores de los coeficientes de determinación R^2. Los mayores valores de capacidad de intercambio (36.53 y 34.96 mg·g^{-1}) con diferencias estadísticamente significativas (p-valor < 0.05), con respecto al resto de los tamaños de partículas y pH, se obtuvieron para los tamaños de partículas I y II, a pH 7. Este mejor ajuste basa sus fundamentos en que el modelo de Langmuir asume la presencia de sitios activos en la superficie del adsorbente, en los que la adsorción se produce de manera preferencial y la capacidad de adsorción del medio es finita (24).

Tabla 4. Parámetros de isotermas de adsorción de K^+, tamaños de partícula I y II, a los diferentes pH evaluados (4, 7 y 9)

Isoterma de adsorción	Parámetros	Solución modélica					
		pH 4, I	pH 7, I	pH 9, I	pH 4, II	pH 7, II	pH 9, II
Langmuir	q_{max} (mg/g)	32.18	36.53	32.24	29.37	34.96	31.86
	K_L (L/mg)	0.004	0.001	0.002	0.0028	0.0022	0.002
	R^2	0.94	0.97	0.96	0.94	0.99	0.95
Freundlich	n	4.64	2.833	3.109	3.702	2.984	2.895
	K_F (L/mg)	5.601	2.264	2.258	3.254	2.241	1.1922
	R^2	0.90	0.94	0.95	0.88	0.95	0.95

Un parámetro ampliamente utilizado como el indicador de la fiabilidad del proceso de intercambio iónico es el parámetro adimensional o factor de separación, R_L (ecuación 9), basado en los resultados de la isoterma de Langmuir (11).

$$R_L = \frac{1}{1 + K_L \cdot C_0} \qquad \text{Ec. 9}$$

Donde, K_L es la constante de adsorción de Langmuir y C_0 es la concentración inicial de potasio en la solución.

Los valores del factor de separación se caracterizan en: desfavorable ($R_L > 1$), lineal ($R_L = 1$), favorable ($1 > R_L > 0$) o irreversible ($R_L = 0$).

Para la adsorción de potasio en la zeolita del yacimiento El Chorrillo, los valores del factor de separación varían entre 0.07 y 0.243; en dependencia de la concentración inicial. Estos valores indican que es un proceso de adsorción favorable. Esto concuerda con los resultados obtenidos por Jaskūnas *et al.* (11), que obtuvieron un rango en cuanto a los valores de separación entre 0.014 y 0.202.

Estudio termodinámico

Con el objetivo de determinar los parámetros termodinámicos, los experimentos se llevaron a cabo a diferentes temperaturas de 25, 40 y 50 °C. Los cambios en la energía libre normal (ΔG^0), de entalpia (ΔH^0) y de entropía (ΔS^0) fueron estimados para evaluar la factibilidad y la naturaleza exotérmica de los procesos de intercambio iónico o adsorción. La energía libre de Gibb's está relaciona-

da con la constante de equilibrio, expresada por la ecuación 9. Los parámetros antes mencionados son calculados con las ecuaciones 10, 11 y 12, respectivamente.

$$\Delta G^0 = -R \bullet T \bullet LnKc \qquad \text{Ec. 10}$$

$$\Delta H^0 = R\left(\frac{T1 \bullet T2}{T2 - T1}\right) \bullet Ln\frac{K_{C_2}}{K_{C_1}} \qquad \text{Ec. 11}$$

$$\Delta S^0 = \frac{\Delta H^0 - \Delta G^0}{T} \qquad \text{Ec. 12}$$

Donde, R es la constante de los gases (J mol^{-1} K^{-1}), T es la temperatura absoluta en la zaranda (K) y Kc, Kc1, y Kc2 son las constantes de equilibrio en la temperatura T, T1 y T2, respectivamente. Los valores de estos parámetros se presentan en la tabla 5.

Tabla 5. Parámetros de adsorción y termodinámicos, a diferentes temperaturas

Temperatura (°C)	qmax	K_L	ΔG^0 (kJ mol^{-1})	ΔH^0 (kJ mol^{-1})	ΔS^0 (kJ mol^{-1})
25	25.65	0.0019	-15.50	-3.68	-3.63
40	32.78	0.0025	-15.52		
50	42.61	0.0017	-15.78		

La tabla 5, muestra que los mejores valores de adsorción tienen lugar con la ayuda de temperaturas más altas. Los valores negativos y pequeños de cambio de energía libre ΔG^0 son indicativos de la naturaleza espontánea del proceso de adsorción. Los valores negativos de entalpia indican la naturaleza exotérmica del proceso de adsorción (25) y los valores negativos de entropía hacen pensar en la probabilidad de una adsorción favorable. El aumento en la capacidad máxima de adsorción con el incremento de temperatura, se debe al reforzamiento de fuerzas adsortivas entre los sitios activos del adsorbente y especies del adsorbente y, también, entre las moléculas adyacentes del adsorbente.

En general, la dependencia de la adsorción de potasio con la temperatura es un factor importante que necesita ser evaluado para establecer las condiciones para el intercambio iónico. La constante K_L describe la proporción de adsorción de potasio. La constante de Langmuir muestra que la adsorción del ion potasio es favorable en este estudio y que la zeolita del yacimiento El Chorrillo tiene alta afinidad por el potasio, por lo que su empleo para este fin puede ser una alternativa a tener en cuenta para la aplicación de estrategias de economía circular. Recuperar nutrientes, a partir de residuales industriales y disponerlos, de forma segura en materiales intercambiadores de iones de liberación lenta, contribuye a proteger los recursos agua y suelo.

CONCLUSIONES

La recuperación de potasio, a partir de soluciones modélicas en zeolita del yacimiento El Chorrillo fue estudiada, el modelo de pseudosegundo orden describe adecuadamente el proceso de intercambio iónico ocurrido. Se corrobora que el proceso de intercambio iónico en zeolitas es un proceso puramente difusivo de cationes intercambiados entre ambas fases. Se determinaron los parámetros de equilibrio que describen el proceso de intercambio iónico, en el que la capacidad máxima fue de 36.53 mg g^{-1} a pH 7 y tamaño de partícula entre 0.5 y 2.7 mm, con mejor ajuste al modelo de Langmuir. En el estudio termodinámico del proceso de intercambio de potasio se obtuvieron las mayores

capacidades de intercambio (42.91 mg g^{-1}), a pH 7, temperatura de 50 ˚C y tamaño de partícula entre 0.5 y 2.7 mm.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Cabrera, A. Propuesta integral para el tratamiento de vinaza con recuperación de productos de valor agregado. (Tesis de doctorado), Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", La Habana, 2017.
2. Camacho-López, L., *et al*. Recuperación del potasio en vinazas de destilerías mediante su precipitación con sulfato de amonio. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar 2016, vol. 50, no 2, p. 24-28.
3. Lorenzo A. Y. Nueva tecnología de producción de etanol y biogás de menor costo e impacto ambiental negativo para la UEB Derivados Heriberto Duquesne". (Tesis de Doctorado), Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", La Habana, Cuba, 2016.
4. Xiao Fu, G., *et al.* Recovery of K+ from concentrates from brackish and seawater desalination with modified clinoptilolite. Desalination and Water Treatment, 2015, p. 1-9.
5. Bharagava R. N., Chowdhary P. Toxicity, Beneficial Aspects and Treatment of Alcohol Industry Wastewater, Chapter 5. Emerging and Eco-Friendly Approaches for Waste Management, p. 83 – 97, 2019. https://doi.org/10.1007/978-981-10-8669-4_5
6. Cabral Filho, Fernando Rodrigues, et al. Sugarcane vinasse cations dynamics in Cerrado soils, Brazil. Sugar Tech, 2019, vol. 21, no 1, p. 38-46
7. Cabral Filho, Fernando Rodrigues, et al. Biomass Accumulation and Technical and Economic Efficiency of Potassium Sources Applied via Fertigation to Corn. Agriculture, 2022, vol. 12, no 4, p. 497.
8. Ping-Jun, Z., *et al.* Using strong acid–cation exchange resin to reduce potassium level in molasses vinasses. Desalination, Vol. 286, p. 210-216, 2012.
9. Torres-Gaviria L. F., Ocampo-Vélez J. C., Socarrás-Cárdenas A. Reducción del nivel de potasio en vinaza de destilería utilizando resinas de intercambio iónico. Revista de Investigación Agraria y Ambiental. Bogotá - Colombia, Vol. 10, no. 1, p. 107-118, 2019. ISSN: 21456097.
10. Rodríguez-Iznaga, I., Rodríguez-Fuentes, G., & Petranovskii, V. Ammonium modified natural clinoptilolite to remove manganese, cobalt and nickel ions from wastewater: Favorable conditions to the modification and selectivity to the cations. Microporous and Mesoporous Materials, 2017.
11. Jaskūnas, A., Subačius, B., & Šlinkšienė, R. Adsorption of potassium ions on natural zeolite: kinetic and equilibrium studies. Chemija, Vol. 26, p. 69–78, 2015.
12. Rodríguez-Fuentes, G. La ingeniería de zeolitas naturales: Desarrollo de nuevos materiales y sus tecnologías de utilización. (Tesis de Doctorado), Universidad de La Habana, La Habana, 2015.
13. NC 625: 2014. Norma cubana. Zeolitas Naturales – Requisitos 2. Edición. ICS: 01.040.73; 73.060.40, 2014.
14. Rosabal, J. y Garcell, L. Hidrodinámica y separaciones mecánicas. Tomo II. Ed. Félix Varela, La Habana, 2006.
15. Ho, Y.-S. Review of second-order models for adsorption systems, Journal of Hazardous Materials, Vol. 136, no 3, p. 681-689, 2006.
16. Zhuang, S., & Wang, J. Removal of Cobalt Ion from Aqueous Solution Using Magnetic Graphene Oxide/Chitosan Composite. *AIChE, Vol. 00*, p. 1-10, 2018.

17. Karadag, D., Koc, Y., Turan, M., & Ozturk, M. A comparative study of linear and non-linear regression analysis for ammonium exchange by clinoptilolite zeolite. Journal of Hazardous Materials, Vol. 144, p. 432-437, 2007.
18. Yang, K., *et al.* In-situ preparation of NaA zeolite/chitosan porous hybrid beads forremoval of ammonium from aqueous solution. Carbohydrate Polymers, Vol. 107, p. 103-109, 2014.
19. APHA, AWWA, WEF. Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st ed. American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environmental Federation, Washington DC, USA. 2005.
20. Sprynskyy, M., *et al.* Ammonium sorption from aqueous solutions by the natural zeolite Transcarpathian clinoptilolite studied under dynamic conditions. Journal of Colloid and Interface Science, Vol. 284 p. 408-415, 2005.
21. Inglezakis, V.J., Stylianou, M.A., Loizidou, M., Zorpas, A.A. Experimental studies and modeling of clinoptilolite and vermiculite fixed beds for Mn^{2+}, Zn^{2+}, and Cr^{3+} removal. Desalination and Water Treatment. Vol. 57, no 25, p. 11610-11622, 2015.
22. Inglezakis, V. J., *et al*. Pretreatment of natural clinoptilolite in a laboratory-scale ion exchange packed bed. Water Resource, Vol. 35, p. 2161–2166, 2001.
23. Cortés, M. R. Efecto de la modificación de una zeolita natural mexicana en la sorción de cadmio y 4-clorofenol. (Tesis de Doctorado). Facultad de Ingeniería Centro Interamericano de Recursos del Agua (CIRA). Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México, 2007.
24. Fetter, C.W. Contaminant Hydrogeology. Second Edition. Prentice Hall, Upper Saddle River, 500. 1993.
25. Sarvinder, T., & Pant, K. (2004). Equilibrium, kinetics and thermodynamic studies for adsorption of As (III) on activated alumina. Separation and Purification Technology, Vol. 36, p. 139-147, 2004.

Estudio de extracción de cera, a partir de cutícula de caña de azúcar con solventes orgánicos, a escala de laboratorio

Marcela Fernández-Casiis[1]*, Eduardo Hernández-Ramos[1], Katherine Pérez-Carrión[1], Manuel Díaz-de los Ríos[1] y José María Mesa-López[2]
1. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA). Vía Banca, No. 804 y Carretera Central, San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba.
2. Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA). Km 1½, Carretera a la CUJAE, Boyeros. La Habana, Cuba.
* marcela.fernandez@icidca.azcuba.cu

RESUMEN

En este trabajo se evaluó la extracción de cera de caña de azúcar, a partir del estudio de siete variedades de caña (C87-51, C90-469, C86-57, C86-12, C105-73, C86-156 y C120-78), con el empleo de cinco solventes orgánicos (o-xileno, tolueno, etanol, ciclohexano y hexano), con el objetivo de determinar cuál de las variedades de caña presenta mayor contenido de cera y conocer el solvente idóneo, de los seleccionados para el estudio, a partir de la teoría de solubilidad de Hansen para la extracción de la cera de caña. En el desarrollo de la investigación se empleó la técnica Soxhlet. Se utilizó el programa Stagraphis Centurion en el procesamiento estadístico de los datos. Este análisis arrojó que las siete variedades de caña estudiadas estadísticamente no presentan diferencias significativas entre ellas; sin embargo, al ser analizadas independientemente, la variedad C120-78 resultó ser la de mayor contenido de cera cuando se extrajo con o-xileno, tolueno y etanol. El etanol fue el solvente que obtuvo mayores rendimientos de extracción de cera de la cutícula de la caña en las siete variedades en estudio.
Palabras clave: caña de azúcar, extracción con solventes orgánicos, cera de caña de azúcar.

ABSTRACT

In this work, the extraction of sugarcane wax was evaluated from the study of seven cane varieties (C87-51, C90-469, C86-57, C86-12, C105-73, C86-156 and C120-78), with the use of five organic solvents (o-xylene, toluene, ethanol, cyclohexane and hexane), with the aim of determining which of the cane varieties has the highest wax content and knowing the ideal solvent of those selected for the study from Hansen's solubility theory for the extraction of cane wax. The Soxhlet technique was used for the development of the research. The Stagraphis Centurion program was used to perform the statistical processing of the data. This analysis showed that the seven varieties of cane statistically studied do not present significant differences between them, not being so when analyzed independently, where the variety C120-78 turned out to be the one with the highest wax content when extracted with o-xylene, toluene and ethanol. Ethanol was the solvent that obtained the highest yields of wax extraction from the cane cuticle in the seven varieties under study.
Key words: sugar cane, organic solvents extraction, sugar cane wax.

INTRODUCCIÓN

La cera ocupa un lugar muy importante dentro de los derivados de la caña por su valor comercial y por los subproductos que de ella se obtienen, que pueden sustituir importaciones y aplicarse nacionalmente en varias industrias (1).

La obtención de productos nutracéuticos, a partir de la cera refinada de la caña de azúcar, se introdujo comercialmente en Cuba, en la década del 90. Luego este proceso ha sido estudiado y difundido por varios países, como India, China y otros países asiáticos. El procedimiento de obtención de estos productos es costoso y complejo, ya que involucra varias etapas de extracción y purificación.

La producción de cera de caña de azúcar, en Cuba, se remonta a la década del 50, cuando la Cuban-American Sugar Co. Swenson (2) desarrolló e introdujo una tecnología para la producción de cera de caña de azúcar, mediante la extracción con heptano; luego esta cera cruda se exportó a los Estados Unidos para su refinación.

La obtención de cera de caña de azúcar, a partir de su extracción con solventes orgánicos, ha sido una de las técnicas más evaluadas por los investigadores que estudian este proceso; sin embargo, existe una gran variabilidad en los resultados reportados en la literatura, debido a la influencia de diversos factores en el desarrollo del proceso.

Diversos son los factores que influyen en el porcentaje de extracción de cera de caña de azúcar con solventes orgánicos, entre los que se encuentran: la variedad de la caña de azúcar, el tipo de solvente empleado, parámetros tecnológicos (temperatura, presión, relación soluto-solvente), entre otros, que influyen directamente en el rendimiento del proceso de extracción de cera. Es por ello que diversos autores investigan las condiciones óptimas del este proceso, para aumentar los rendimientos de extracción, reducir el tiempo y el consumo de solventes.

Autores como Chakhathanbordee *et al.* (3) evaluaron y compararon la tecnología Soxhlet (S) tradicional de extracción por solvente, con métodos novedosos: extracción acelerada por solvente (ESA) y extracción supercrítica (ES) de cera de cachaza. Los mayores rendimientos de extracción de cera se registraron para la tecnología ESA, seguida del proceso Soxhlet.

Otros autores, como García *et al.* (4) con el fin de mejorar los rendimientos extractivos y reducir la interferencia de impurezas y otros componentes no deseados, presentes en el lodo del filtro, evaluaron la alternativa de utilizar directamente la cutícula de caña de azúcar como fuente de cera de caña de azúcar, seguido de un proceso de extracción por solventes.

A partir de lo expuesto anteriormente se infiere que el tipo de solvente empleado constituye uno de los principales factores que incide en la variabilidad del porcentaje de extracción de la cera de caña de azúcar.

Autores como Chakhathanbordee *et al.* (3) reportan un rendimiento de extracción de cera de caña de cachaza de 9.08 % b.s., con el uso de n-hexano; sin embargo, Azzan (5) estudió la extracción con tolueno y etanol, con rendimientos de 14.55 y 13.90 %, respectivamente.

Por otra parte, Bhosale *et al.* (6) reportan rendimientos de hasta 5.6 y 7.4 %, con el empleo de tolueno y benceno respectivamente, a partir de cachaza de varios ingenios azucareros.

García et al. (4) estudiaron el efecto del tolueno, tricloroetileno y éter de petróleo para la extracción de cera de cutícula de caña de azúcar y alcanzaron rendimientos de 4.31; 5.18 y 4.05 %, respectivamente.

Con el propósito de sustituir solventes orgánicos ambientalmente agresivos, como el hexano tradicional, San Anastacio-Rebollar *et al.* (7) estudiaron el uso de etanol de 96 a 70 °C, para la extracción de cera de caña de azúcar del lodo del filtro y obtuvieron rendimientos de hasta 7.55 %.

También Attard *et al*. (8) estudiaron la extracción supercrítica y la extracción a partir de la técnica Soxhlet, con el empleo del solvente hexano para la extracción de cera de caña, en hojas, tallos, corteza y bagazo.

Por otra parte, Asikin *et al.* (9), evaluaron la mezcla de hexano y metanol para la extracción de cera de la cáscara de los tallos de siete cultivos diferentes de caña con la técnica Soxhlet.

El presente trabajo tiene como objetivos:

- Determinar qué variedad de caña de las recomendadas por el Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA) presenta mayor contenido de cera.

- Determinar el solvente idóneo de los seleccionados en el estudio, para la extracción de la cera de caña.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima empleada

Se seleccionaron siete variedades de caña, facilitadas por el Instituto Nacional de la Caña de Azúcar (INICA). Los sacos presentaban un peso de alrededor de 5 kg y contenían tallos de 1 metro de longitud, aproximadamente. Estos tallos fueron procesados para separar la cáscara, a partir de pelado manual. Luego estas cáscaras se secaron en la estufa a 60 °C, durante 72 horas y fueron molidas. Las variedades en estudio fueron cultivadas y recolectadas bajo las mismas condiciones: tipo de suelo, tratamientos agronómicos y factores medioambientales.

Variedades:

- C87-51
- C90-469
- C86-57
- C86-12
- C105-73
- C86-156
- C120-78

Determinación de solventes para la extracción de cera

La selección de los solventes empleados se basó en trabajos anteriores relacionados con el estudio del comportamiento de la afinidad de las fracciones de cera de caña de azúcar y diferentes solventes (10), resultados reportados en la literatura y la experiencia práctica adquirida por los autores. A partir de estos criterios, se evaluaron cinco solventes: o-xileno, tolueno, etanol, ciclohexano y hexano.

Técnica Soxhlet

Para el estudio se empleó la técnica Soxhlet (figura 1), que consiste en una unidad de laboratorio conformada por 3 piezas de vidrio: un balón donde se introduce el solvente que se calienta, mediante una manta eléctrica, conectada al dispositivo de extracción. Contiene un dedal de celulosa que tiene una muestra de la variedad de caña que se desea estudiar. Al alcanzar el solvente su temperatura de ebullición, los vapores ascienden por un conducto y pasan al estado líquido en el condensador ubicado en el tope del extractor y gotean sobre la matriz sólida, donde ocurre el proceso de extracción lentamente. Una vez que se llena el extractor, por medio de un sifón, el solvente es drenado hacia el balón, con toda la cantidad de cera que logró solubilizar. Este ciclo se repite y se va acumulando el extracto por un tiempo prudencial (6 horas). La ventaja de esta técnica es que nunca se saturará el solvente (4, 8, 9).

Figura 1. Técnica Soxhlet.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de las variedades de caña

Las variedades de caña para realizar el experimento se caracterizaron y a estas se les determinó la materia seca. En la tabla 1 se presentan los valores de los que se parten para comenzar el estudio.

Tabla 1. Caracterización de la materia prima

Variedad	Peso inicial (kg)	Peso cáscara húmeda (kg)	Peso cáscara seca (kg)
C87-51	3.39	0.65	0.27
C90-469	5.20	0.74	0.30
C86-57	4.29	0.75	0.33
C86-12	4.20	0.70	0.32
C105-73	4.26	0.75	0.31
C86-156	4.55	1.36	0.52
C120-78	2.74	0.82	0.31

Los resultados mostrados fueron obtenidos a partir del procedimiento expuesto en el acápite de Materiales y Métodos.

Contenido de cera en variedades de caña de azúcar estudiadas

Los porcentajes de extracción calculados para cada variedad de caña de azúcar se muestran en la tabla 2, entre las estudiadas, las variedades C120-78, C86-156 y la C87-51 reportaron mayores contenidos de cera.

Tabla 2. Porcentajes de extracción de cera de caña a partir de solventes

Solventes	Variedades	C87-51	C90-469	C120-78	C105-73	C86-156	C86-56	C86-12
O-xileno	% extracción base corteza	5.94±0.99	2.36±0.86	3.10±0.61	1.93±0.08	0.72±0.45	0.73±0.04	1.83±0.74
	% extracción base caña	0.48±0.08	0.14±0.05	0.36±0.07	0.14±0.01	0.08±0.05	0.06±0.00	0.14±0.06
Tolueno	% extracción base corteza	1.92±0.76	2.01±0.32	1.61±0.30	1.91±0.05	0.70±0.18	2.23±0.11	1.15±0.00
	% extracción base caña	0.15±0.06	0.12±0.02	0.19±0.04	0.14±0.00	0.08±0.02	0.17±0.01	0.09±0.00
Etanol	% extracción base corteza	12.26±0.59	20.93±0.38	26.50±3.60	11.96±2.37	17.68±6.42	9.91±0.63	9.02±0.43
	% extracción base caña	0.98±0.05	1.21±0.02	3.05±0.41	0.89±0.18	2.05±0.75	0.76±0.05	0.70±0.03
Ciclo hexano	% extracción base corteza	0.72±1.01	1.09±1.54	0.39±0.55	0.87±0.10	1.14±0.15	2.02±0.19	1.09±0.04
	% extracción base caña	0.06±0.08	0.06±0.09	0.04±0.06	0.07±0.01	0.13±0.02	0.15±0.01	0.08±0.00
Hexano	% extracción base corteza	1.30±0.10	1.86±0.10	0.99±0.35	1.95±0.90	0.25±0.34	1.64±0.13	0.91±0.22
	% extracción base caña	0.10±0.01	0.11±0.01	0.11±0.04	0.15±0.07	0.03±0.04	0.13±0.01	0.07±0.02

Diferentes reportes de la literatura obtienen valores cercanos a los de este estudio. Attard *et al.* (8) logran un porcentaje de extracción de 0.8 %, cuando se extrae cera a partir de la corteza de la caña con un equipo soxhlet y tolueno como solvente. Como valor promedio entre las siete variedades estudiadas, durante la extracción con tolueno, se obtuvo un porcentaje de extracción de 1.65 ±0.58 %. La variedad C86-156 alcanzó un porcentaje de extracción de 0.83 % muy similar a los reportados por los autores. La variedad que presentó el valor mayor fue C120-78.

Asikin *et al*. (9) realizaron un estudio con el objetivo de conocer los principales compuestos que prevalecían en las distintas variedades de caña y cuantificarlos. Como parte de sus resultados expusieron porcentajes de extracción para dichas variedades entre 0.09 y 0.12 % en base tallo, con un equipo soxhlet y, como solvente, una mezcla de hexano-metanol. Teniendo en cuenta que los autores emplearon una mezcla de solventes orgánicos y, en este estudio se evaluó la extracción de cera con hexano, los valores obtenidos en ambos estudios son semejantes. El porcentaje promedio de extracción obtenido es 0.10 ± 0.04 % para las siete variedades estudiadas, el mayor porcentaje lo presentó la variedad C105-73.

Por otra parte, García *et al.* (4) en sus estudios de recuperación de cera, a partir de la cutícula de la caña, con empleo de la técnica soxhlet y tolueno como solvente, en dos de las 12 corridas experimentales realizadas, reportan un valor de extracción de 2.77 %, mientras que en este trabajo para la variedad de caña C87-51, con el mismo solvente, se obtuvo un valor de 2.46 %.

En estudios realizados sobre el contenido de cera de caña en distintas variedades, se reporta variabilidad en los porcentajes de extracción para cada una (1.9), también en otras investigaciones (4) se muestra que existe variabilidad de dichos porcentajes cuando se utilizan distintos solventes en el proceso de extracción.

En la figura 2 se puede observar el comportamiento en los resultados obtenidos para esta experiencia, los porcentajes de extracción se presentan en base tallo de caña. La variedad más destacada en este aspecto es la C120-78.

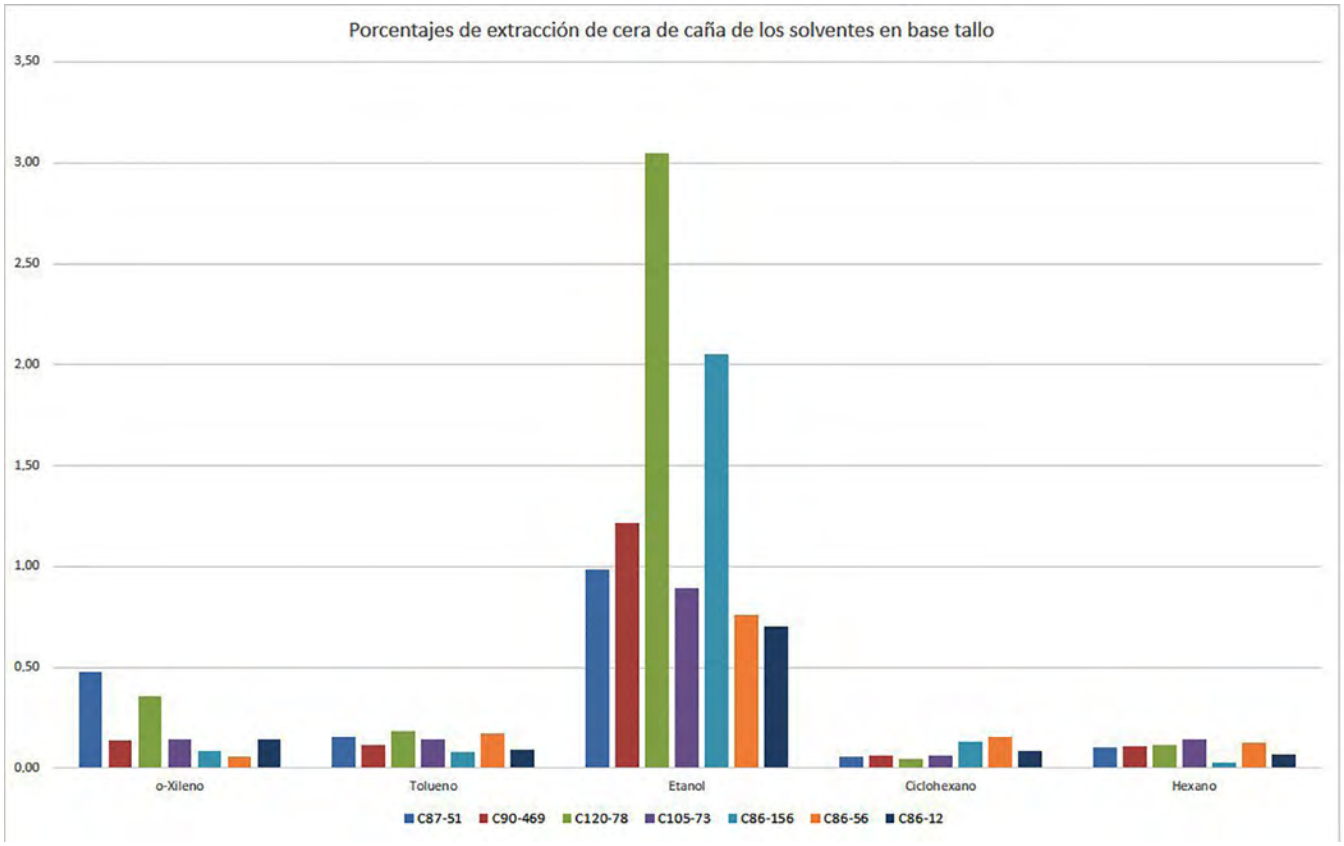


Figura 2. Resultados del estudio de extracción de cera de caña con solventes orgánicos en base tallo.

Si se compara el porcentaje de extracción que marca la barra de azul, que representa a la variedad C87-51, para los cinco solventes se observan diferencias entre ellos, a la vez, si se compara el comportamiento de la extracción presentada por un mismo solvente, con las siete variedades bajo estudio, también se aprecian diferencias entre los valores obtenidos.

En la figura 2 también destacan los porcentajes de extracción obtenidos mediante el uso de etanol como solvente. Varios reportes en la literatura han estudiado este solvente como solución alternativa para la sustitución de solventes no amigables con el medioambiente (5, 7).

En el ICIDCA se han llevado a cabo diferentes estudios en los que se utiliza el etanol como solvente; pero, principalmente, en la etapa de refinado de cera de caña de azúcar, en que sí ha demostrado ser un solvente eficaz. Hernández y Díaz (10) llevaron a cabo un estudio en el que se propusieron lograr un criterio cuantitativo que permitiera decidir cuál solvente podría ser efectivo en el proceso de refinado de cera de caña de azúcar, a partir del uso de la teoría de Hansen; como conclusión expusieron que el etanol absoluto resulta ser un solvente adecuado para la extracción de los ácidos grasos de bajo punto de fusión (fracción aceite).

En otro trabajo de Hernández y Díaz (10), se realizó un estudio de solvente enfocado al proceso de extracción de la fracción cera y el etanol no constituyó uno de los solventes de mayor afinidad con este material. Este estudio se llevó a cabo a temperatura ambiente y en este trabajo se estudió la extracción con etanol en su punto de ebullición, lo que permite mayor capacidad para solubilizar la cera de caña de azúcar.

Procesamiento estadístico de los resultados

Análisis del mejor solvente para la extracción de cera en las variedades de caña

Se realizó un análisis estadístico con el uso del programa Statgraphics Centurion, para conocer cuál de los solventes fue capaz de extraer mayor cantidad de cera en las siete variedades de caña.

Con el análisis de la tabla ANOVA, que compara las medias de las variables en estudio, se puede determinar si existen diferencias significativas entre grupos e intragrupos. En la tabla 3 se muestra el análisis estadístico ANOVA.

Tabla 3. Tabla ANOVA

Fuente	Suma de cuadrados	Df	Cuadrados medios	F-Ratio	P-Valor
Entre grupos	17.5825	4	4.39561	28.08	0.0000
Intragrupos	10.1753	65	0.156544		
Total (Corr)	27.7578	69			

A partir de los resultados mostrados en la tabla, se determina que no existen diferencias significativas intragrupos pero sí entre ellos, ya que su P-valor es inferior a 0.05. Entonces, se procede a realizar la Prueba de múltiples rangos para conocer cuáles de los grupos en estudio presentan diferencias significativas entre ellos. En la tabla 4 se muestran los resultados arrojados por esta prueba.

Tabla 4. Prueba de múltiples rangos

	Muestra	Media	Grupos homogéneos
Ciclohexano	14	0.0864286	X
Hexano	14	0.0992857	X
Tolueno	14	0.135714	X
o-Xileno	14	0.199286	X
Etanol	14	1.37929	X

Las X alineadas a la izquierda indican que no existen diferencias significativas entre los primeros cuatro grupos; sin embargo, la X a la derecha indica las diferencias que existen entre el quinto grupo y los restantes. Por lo que se concluye que el etanol fue el solvente que logró extraer mayor cantidad de cera en las variedades de caña.

Análisis de la variedad de caña que presenta mayor contenido de cera

Para determinar cuál de las siete variedades de caña en estudio presenta mayor contenido de cera, a partir de un análisis estadístico, fue necesario estudiar cada uno de los solventes y saber de cuál de las variedades se logró extraer mayor cantidad de cera; porque al realizar el análisis global estadísticamente las siete variedades de caña no presentaron diferencias significativas entre ellas, lo que se demuestra en los resultados obtenidos en la tabla ANOVA y la Prueba de múltiples rangos, presentadas en las tablas 5 y 6, respectivamente.

Tabla 5. Resultados de la tabla ANOVA variedades de caña

Fuente	Suma de cuadrados	Df	Cuadrados medios	F-Ratio	P-Valor
Entre grupos	1.01143	6	0.168572	0.38	0.8861
Intragrupos	12.4502	28	0.444651		
Total (Corr)	13.4617	34			

Tabla 6. Prueba de múltiples rangos variedades de caña

Variedad	Muestra	Media	Grupos homogéneos
C86-12	5	0.216	X
C86-56	5	0.254	X
C105-73	5	0.278	X
C90-469	5	0.328	X
C87-51	5	0.354	X
C86-156	5	0.474	X
C120-78	5	0.75	X

A continuación se presentan los resultados alcanzados para los solventes o-xileno, tolueno, etanol, ciclohexano y hexano. En cada análisis se realizó la prueba ANOVA, para determinar si existen diferencias significativas entre los grupos y dentro de ellos; además, se realizó la Prueba de múltiples rangos para conocer cuáles son los grupos que presentan diferencias significativas entre ellos.

En las tablas 7 y 8 se presentan los resultados de la tabla ANOVA y de la Prueba de múltiples rangos respectivamente, para el solvente o-xileno.

Tabla 7. Resultados de la tabla ANOVA o-xileno

Fuente	Suma de cuadrados	Df	Cuadrados medios	F-Ratio	P-Valor
Entre grupos	0.292643	6	0.0487738	17.74	0.0007
Intragrupos	0.01925	7	0.00275		
Total (Corr)	0.311893	13			

Tabla 8. Resultados de la Prueba de múltiples rangos o-xileno

Variedad	Muestras	Media	Grupos homogéneos
C86-56	2	0.055	X
C86-156	2	0.085	X
C90-469	2	0.135	X
C86-12	2	0.14	X
C105-73	2	0.145	X
C120-78	2	0.36	X
C87-51	2	0.475	X

A partir de los resultados obtenidos en las tablas anteriores, como el P-valor es menor que 0.05, existen diferencias significativas entre los grupos y en la Prueba de múltiples rangos se determina que las variedades de caña C120-78 y C87-51, presentan diferencias significativas con las restantes. Por lo que se concluye que en estas dos variedades se extrajo mayor cantidad de cera con el empleo del o-xileno como solvente.

En las tablas 9 y 10 se presentan los resultados obtenidos, a partir del análisis estadístico, con la tabla ANOVA y la Prueba de múltiples rangos respectivamente, para el tolueno.

Tabla 9. Resultados de la tabla ANOVA tolueno

Fuente	Suma de cuadrados	Df	Cuadrados medios	F-Ratio	P-Valor
Entre grupos	0.0190429	6	0.00317381	3.53	0.0619
Intragrupos	0.0063	7	0.0009		
Total (Corr)	0.0253429	13			

Tabla 10. Resultados de la Prueba de múltiples rangos tolueno

Variedad	Muestra	Media	Grupos homogéneos
C86-156	2	0.085	X
C86-12	2	0.09	X
C90-469	2	0.115	XX
C105-73	2	0.145	XX
C87-51	2	0.155	XX
C86-56	2	0.175	X
C120-78	2	0.185	X

Para este análisis, el valor del P-valor es mayor de 0.05, por lo que se determina que no existen diferencias significativas entre los grupos en estudio; sin embargo, como el valor es tan próximo a 0.05, se determinó realizar la Prueba de múltiples rangos para determinar el comportamiento de estos grupos y cuáles eran los que diferían. Al realizar el análisis de esta prueba se evidenció que las variedades C90-469, C105-73, C87-51, eran grupos homogéneos, no presentaban diferencias entre ellas; sin embargo, presentaron diferencias significativas con las restantes variedades. En las variedades C86-56 y C120-78, el tolueno fue capaz de extraer mayor cantidad de cera.

Para el procesamiento estadístico de los resultados obtenidos del proceso de extracción con etanol, como solvente, se realizó la tabla ANOVA y la Prueba de múltiples rangos, las cuales se presentan en las tablas 11 y 12, respectivamente.

Tabla 11. Resultados de la tabla ANOVA etanol

Fuente	Suma de cuadrados	Df	Cuadrados medios	F-Ratio	P-Valor
Entre grupos	9.00614	6	1.50102	13.70	0.0015
Intragrupos	0.76675	7	0.109536		
Total (Corr)	9.77289	13			

Tabla 12. Resultados de la Prueba de múltiples rangos etanol

Variedad	Muestra	Media	Grupos homogéneos
C86-12	2	0.7	X
C86-56	2	0.76	X
C105-73	2	0.895	X
C87-51	2	0.985	X
C90-469	2	1.215	X
C86-156	2	2.05	X
C120-78	2	3.05	X

A partir de los resultados anteriores, como el P-valor es menor de 0.05, existen diferencias significativas entre los grupos y en la Prueba de múltiples rangos se determina que la variedad de caña C120-78 presenta diferencias significativas con las restantes, por lo que se puede concluir que el etanol extrajo mayor cantidad de cera en esta variedad.

En las tablas 13 y 14 se presentan los resultados obtenidos, a partir del análisis estadístico con la tabla ANOVA y la Prueba de múltiples rangos respectivamente, para el ciclohexano.

Tabla 13. Resultados de la tabla ANOVA ciclohexano

Fuente	Suma de cuadrados	Df	Cuadrados medios	F-Ratio	P-Valor
Entre grupos	0.0119429	6	0.00199048	18.58	0.0006
Intragrupos	0.00075	7	0.000107143		
Total (Corr)	0.0126929	13			

Tabla 14. Resultados de la Prueba de múltiples rangos ciclohexano

Variedad	Muestra	Media	Grupos homogéneos
C105-73	2	0.065	X
C86-12	2	0.085	XX
C120-78	2	0.09	X
C87-51	2	0.12	X
C86-156	2	0.13	X
C90-469	2	0.13	X
C86-56	2	0.155	X

Los resultados para este solvente arrojan que sí existen diferencias significativas entre los grupos, pues el P-valor es menor de 0.05 y se procede a realizar la Prueba de múltiples rangos, en la que se evidencia que en la variedad C86-56 el ciclohexano fue capaz de extraer la mayor cantidad de cera.

En las tablas 15 y 16 se presentan los resultados de la tabla ANOVA y de la Prueba múltiples rangos respectivamente, para el hexano.

Tabla 15. Resultados de la tabla ANOVA hexano

Fuente	Suma de cuadrados	Df	Cuadrados medios	F-Ratio	P-Valor
Entre grupos	0.0106714	6	0.00177857	2.20	0.1624
Intragrupos	0.00565	7	0.000807143		
Total (Corr)	0.0163214	13			

Tabla 16. Resultados de la Prueba de múltiples rangos hexano

Variedad	Muestra	Media	Grupos homogéneos
C86-156	2	0.06	X
C86-12	2	0.07	X
C90-469	2	0.105	XX
C87-51	2	0.105	XX
C120-78	2	0.115	XX
C86-56	2	0.125	XX
C105-73	2	0.145	X

Para este análisis el valor del P-valor es mayor de 0.05 por lo que se puede determinar que no existen diferencias significativas entre los grupos en estudio; sin embargo, se determinó realizar la Prueba de múltiples rangos para determinar el comportamiento de estos grupos y cuáles eran los que diferían. Al realizar el análisis de esta prueba se evidencia que las variedades C90-469, C87-51, C120-78, C86-56 son grupos homogéneos, no presentan diferencias significativas entre ellas; sin embargo, presentan diferencias significativas con las restantes variedades. En la variedad C105-73, el hexano fue capaz de extraer mayor cantidad de cera.

El análisis estadístico permite despejar las posibles incertidumbres de los resultados y resaltar la variedad C120-78 como la más promisoria, mientras que los solventes o-xileno, tolueno y etanol resultan los de mayor poder extractivo en dicha variedad, a partir de la corteza de la caña. Muchos trabajos de la literatura coinciden con la viabilidad del tolueno, mientras el etanol es reportado para tecnología ESA; sin embargo, la mayor dificultad con el empleo de etanol, durante la extracción, a partir de cachaza, radica en su miscibilidad con agua y las dificultades que ello le transfiere a la posterior extracción de la cera en el solvente.

CONCLUSIONES

- La técnica Soxhlet, empleada por varios autores, desarrollada en este trabajo para la extracción de cera de caña de azúcar con solventes, fue eficaz.
- El etanol fue el solvente que obtuvo mayores rendimientos de extracción de cera de la cutícula de la caña, en las siete variedades en estudio.
- Las siete variedades de caña estudiadas estadísticamente no presentaron diferencias significativas entre ellas; sin embargo, cuando se analizaron independientemente, la variedad C120-78 resultó ser la de mayor contenido de cera al extraerla con o-xileno, tolueno y etanol.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Peña, C., Peña, M., Sosa, I. Caracterización y obtención de variedades de caña de azúcar con alto contenido de cera (1996).

2. Swenson, O. J. (1947) Method for extracting wax from cachaza. US Patent 2508002, May 29, 1947.
3. Chakhathanbordee, R., Khotavivattana, S. and Sriroth, K. Development of sugarcane wax extraction methods from sugarcane filter cake for value creation. Research and Development. JournalScience and Technology, 11, 95-106 (2016).
4. García, A., García, M.A., Ribas, M. and Brown, A. Recuperación de cera de cutícula de caña de azúcar mediante separación mecánica y extracción con solventes. Grasas Aceites, 54 (2), 169-174 (2003).
5. Azzam, A.M. Separation and Analysis of Wax from Egyptian Sugar Cane Filter Press Cake. Eur. J. Lipid Sci. Tech, 86 (6), 247-250 (1984).
6. Bhosale, P. R., Chonde, S. G. and Raut, P. D. Studies on extraction of sugarcane wax from press mud of sugar factories from kolhapur district, Maharashtra, J. Environ. Res. Dev. 6 (3A) 715-720 (2012).
7. San Anastacio-Rebollar, I.M., García, D.R., Hernández-González, R.C., Guerra-Rodríguez, L. E. and Villanueva-Ramos, G. Extracción de cera a partir de cachaza con etanol 96 ºGL a escala de laboratorio, Tecnol. Quim., XXXVII (1) 159-175 (2017).
8. Attard, Thomas M., McElroy, C. Rob., Rezende, Camila A., Polikarpov, Igor Clark, James H., Hunt, Andrew J. Sugarcane waste as a valuable source of lipophilic molecules. Industrial Crops and Products, 76 (1), 95-103 (2015).
9. Asikin, Y.,Takahashi, M., Hirose, N., De-Xing Hou, Takara, K., Wada, K. Wax, policosanol, and long-chain aldehydes of different sugarcane (*Saccharumofficinarum L*.) cultivars. Eur. J. Lipid Sci. Technol, 2012.
10. Hernández, E., Díaz, M. Determination of Hansen solubility parameters of refined sugarcane wax. Documentos químicos, 75 (10), 5313-5322, (2021).

Nanotecnología aplicada al tratamiento de aguas residuales

Yarelys Herrera-Díaz* y Georgina Michelena-Alvarez
Instituto Cubano de Investigación de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)
* yarelysherrera8@gmail.com

RESUMEN

La Nanotecnología emerge como alternativa interesante en el diseño de sistemas para el tratamiento de aguas. El pequeño tamaño de las nanopartículas y las características de los nanomateriales hacen que el potencial de la Nanotecnología, en este campo, sea enorme. El presente artículo de revisión aborda la importancia de la Nanotecnología en el cuidado del medioambiente y cómo las nanopartículas pueden ser usadas efectivamente, en el tratamiento de aguas residuales y remarcar su utilidad en sistemas de desalinización. Se describen propiedades de los nanomateriales utilizados para desinfección de aguas, en el desarrollo de sistemas de filtración por membrana y sus características Se brinda un panorama del uso de la nanotecnología en el tratamiento de aguas residuales a nivel mundial, sus ventajas y desventajas. Finalmente, se revisan brevemente los efectos dañinos de las nanopartículas y nanomateriales en ecosistemas acuáticos.
Palabras clave: tratamiento de aguas residuales, Nanotecnología, nanopartículas, nanomateriales.

ABSTRACT

Nanotechnology emerges as an interesting alternative for the design of water system treatments. The small size of the nanoparticles and the characteristics of the nanomaterials made huge the potential of this technology in this field. The current review article introduces to the lecturer to know the importance of nanotechnology in tech environment care and gives the basic concepts of nanoscience, nanotechnology, how nanoparticles can be effectively used in wastewater treatment, remarking its usefulness in desalination systems. Later, there is a description of the properties of the nanomaterials used for the disinfection of water, in the development of membrane filtration systems describing their characteristics. An overview of nanotechnology in water treatment at world level with advantages and disadvantages is provided. Finally, there is brief review of the damaging effects of the nanoparticles and nanomaterials in aquatic ecosystems.
Key words: waste treatment, Nanotechnology, nanoparticles, nanomaterials.

INTRODUCCIÓN

La Nanotecnología (deriva del vocablo griego nanno que significa enano) es el control de la materia a escala entre 1 y 100 nanómetros, según Yanus *et al.* (1). Es la posibilidad de manejar las cosas a diferentes escalas: molecular, atómica y subatómica, lo que podría reportar beneficios increíbles a las sociedades presentes y futuras, advierten Olivera *et al.* (2).

El campo de la Nanotecnología aún no ha sido explorado del todo en nuestro país pero es pertinente conocer que muchas técnicas pueden adaptarse a nuestras necesidades, las alianzas con centros líderes en este campo en el país como el Centro de Estudios Avanzados CEA constituye una vía para el desarrollo de estudios científicos relacionados con esta temática en Cuba.

El agua es un recurso escaso para muchos países, en especial en el Medio Oriente, pues la oferta no satisface la demanda (3). El agua se convertirá en un recurso aún más escaso, debido a las presiones del cambio climático y del crecimiento demográfico, sobre todo en las regiones en desarrollo, en las que el agua disponible no suele ser apta para el consumo humano, asegura Serrano

(4), esto constituye un grave problema que afecta la salud humana, daña ecosistemas y degrada la calidad de las fuentes de agua.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), en el 2017, murieron aproximadamente 3.3 millones de personas en el mundo a causa de las diarreas por *E. coli*, cólera, infecciones bacterianas, patógenos virales y parásitos en el agua, también se estima que cerca del 80 % de las enfermedades en los países en desarrollo, tienen relación directa con la falta de saneamiento y pobre calidad del agua disponible; asimismo, a nivel mundial, de 17 a 19 millones de personas no cuentan con acceso al agua potable ni saneamiento básico (5).

La Nanotecnología emerge como una interesante alternativa para del tratamiento del agua, pues la escala de trabajo, así como las características de los nanomateriales hacen de ella un campo de gran potencial (6). Asimismo, la Nanotecnología ha sido usada de manera eficiente, en la remediación de aguas, biorremediación, la remoción de tintas, la absorción de contaminantes, la remoción de metales pesados y en los procesos de filtración (7). La escala de trabajo permite resultados precisos y especificaciones exactas requeridas.

Contar con fuentes de agua limpia es una de las prioridades de la comunidad científica internacional por lo que muchos países están desarrollando investigaciones en las que se relacionan la Nanotecnología y el tratamiento del agua e intentan implementar soluciones ventajosas en este novedoso campo. Países como Brasil, China, India, Arabia Saudita y Sudáfrica cuentan con centros dedicados a la investigación en estas ramas. Las propiedades únicas que poseen las nanopartículas para mejorar los procesos de adsorción, catálisis y desinfección hacen que sean muy apropiadas en el tratamiento del agua.

El campo de la Nanotecnología aún no ha sido explorado del todo en Cuba, pero es pertinente conocer que muchas técnicas pueden adaptarse a nuestras necesidades, las alianzas con centros líderes en este campo como el Centro de Estudios Avanzados CEA, constituye una vía para el desarrollo de estudios científicos relacionados con esta temática en el país.

El objetivo de la presente revisión es ofrecer una mirada a los avances de la Nanotecnología en el tratamiento de las aguas residuales y prestar particular atención al uso de nanomateriales en la fabricación de membranas para filtración y el uso de nanopartículas para catálisis y fotocatálisis.

MATERIALES Y MÉTODOS

Metodologías de obtención de nanopartículas

En la actualidad existe una gran cantidad de investigaciones en el mundo para perfeccionar y descubrir técnicas experimentales que produzcan nanomateriales; sin embargo, para generar materiales en dimensión nanométrica se distinguen dos alternativas ya establecidas:

1. Top-down “de arriba hacia abajo”: técnica que desarrolla las nanoestrcuturas “grabando” un bloque de material.
2. Bottom-up “de abajo hacia arriba”: técnica en la que los materiales nanoestructurados se producen a partir de “nanobloques” de átomos o moléculas.

Top–down: Estas dos aproximaciones, categorizan las metodologías de la siguiente manera: consiste principalmente en la aplicación de métodos físicos para lograr la división de la materia sólida en partes más pequeñas, usualmente incluye prácticas como el desgaste, evaporación térmica, implantación de iones y la molienda o activación mecano-química, para involucrar la molienda o el desgaste (8).

Bottom-up: Esta aproximación de metodologías explica que la fabricación de nanopartículas, se realiza mediante procedimientos químicos, con prácticas como la condensación de átomos o entidades moleculares, también mediante el método coloidal, la reducción fotoquímica y radiolítica,

irradiación con microondas, la utilización de dendrímeros, la síntesis solvotermal y el método sol-gel, ya sea dentro de una fase gaseosa o en solución. Este enfoque es el más conocido y practicado en la síntesis de nanopartículas (8).

Materiales para filtración por membrana

La Nanotecnología podría tener avances revolucionarios en la industria de la desalinización del agua, aunque el desarrollo de dichas membranas está aún en un proceso inicial y existen varios problemas por resolver (9). Los desafíos principales son: el alto costo de los materiales nanoestructurados y la dificultad en escalar los procesos de manufactura de membrana, para uso comercial. De acuerdo con Lange (10), existen tres tecnologías que prometen reducir los requerimientos para la desalinización de hasta un 30 %: osmosis (directa y reversa), compositos de membrana hechos con nanotubos de carbono y membranas biomiméticas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Actualmente existen varias membranas desarrolladas con nanotecnología (11). La Nanotecnología ofrece un rango de soluciones más amplio para nuevos materiales de membrana (9, 12), que incluyen: membranas de óxido de grafeno (13), membranas de nanofiltración de cerámica, nanopartículas magnéticas (14), membranas poliméricas con recubrimiento antiderrame (cubiertas orgánicas tipo cepillo, membranas impregnadas con nanopartículas), compositos de membrana (compositos de membrana de película fina para osmosis, combinaciones: de metal/óxidos metálicos + polímero, nanotubos de carbón + polímero, zeolitas + polímero y aquaporina (AQP)+ polímero).

Otras aplicaciones en el tratamiento de aguas

En la tabla 1 se muestran sintetizadas las alternativas de uso de las nanopartículas en el tratamiento de aguas.

Tabla I. Aplicaciones y ventajas de la Nanotecnología

Campo	Nanotecnología desarrollada	Aplicación	Ventajas
Aguas subterráneas	Hierro de cerovalente (ZVI)	En la recuperación de aguas subterráneas	Es de larga duración, los subproductos no son tóxicos y suele ser altamente eficaz.
Desinfección y nanofiltración	Fibras de alumina	Se usan en la desinfección,nanofiltración	Poseen alta adsorción y resistencia mejorada a la obstrucción.
	Metales semiconductores	Desalinización, desinfección y nanofiltración	Reconocidos como funcionalmente seguros.
Aguas Residuales	Membranas, arcillas / zeolitas	En el tratamiento de aguas residuales, su depuración, desalinización.	Amplia área superficial, selectivo para contaminantes de la industria química.
Reciclaje y Remediación	Cápsula	Aplicables en las aguas residuales, reciclaje y remediación.	Es reutilizable.
Remediación	Perlas, resinas	Remediación	Deja pocos residuos sólidos, posee absorción rápida y puede ser reutilizable.
Purificación	Nanotubos	Purificación y tratamiento	Pueden ser diseñados selectivamente.
Aguas Residuales	Dendrímeros	Aguas residuales, remediación y filtración	Alta capacidad para los metales, capaz de auto ensamblarse.
Desinfección	Compuestos	Tratamiento	Amplia superficie y capacidad de absorción.

CONCLUSIONES

- El uso de las tecnologías convencionales constituye la primera alternativa que debemos poner en práctica para tratar las aguas residuales.
- La Nanotecnología es un campo con mucho potencial en el que, continuamente, se realizan mejoras en los sistemas de filtración con membranas, que no solo disminuyen en tamaño sino en selectividad y duración y aunque el costo aún sigue siendo elevado para un tratamiento de agua a gran escala, es importante mantenerse al corriente de los avances y tratar de replicar, en nuestra propia comunidad, experiencias exitosas en otros países.
- Aunque el campo de la Nanotecnología no ha sido explorado del todo en nuestro país, deben conocerse las técnicas que puedan adaptarse a nuestras necesidades y desarrollar estudios científicos relacionados con esta temática en Cuba.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Yunus, I.; *et al*. Nanotechnologies in water and air pollution treatment, Environmental Technology Reviews, 2012, vol. 1, no. 1, p. 136-148, DOI: 10.1080/21622515.2012.733966
2. Olvera, R.; *et al*. Review of nanotechnology value chain for water treatment applications in Mexico. Resource-Efficient. Technologies, 2017, vol. 3, p. 1–11.
3. FCM. (2016). Fundación para el Conocimiento Madrid. Obtenido de Fundación para el Conocimiento Madrid.: https://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2016/02/24/132448 Ions Using Graphene Oxide Membranes. Nat Nanotechnol, 2017, vol.12, p. 546-50.
4. Serrano, J. D. (2010). El acceso al agua y saneamiento: Un problema de capacidad institucional local. Análisis en el estado de Veracruz. Scielo. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S140510792010000200004&script=sci_arttext&tlnen
5. González, E. A. aguda, prolongada y persistente en niños y su diferencia de la diarrea crónica. Medisan, 2017, vol. 21, no 9, p. 2047-2060.
6. Chávez, G. A. Nanotecnología una alternativa para el tratamiento de aguas residuales: Avances, Ventajas y Desventajas. Scielo. Obtenido de http://www.scielo.org.bo/pdf/jsars/v9n1/v9n1_a05.pdf. Ciencias de la Información, 2018, vol. 43, no 1, p.5-14.
7. Ramírez, J.; Trujillo, A. Revista de Investigación Agraria y Ambiental. Biorremediación en suelos contaminados con hidrocarburos en Colombia, 2013, vol. 3, Issue 2, p. 37-48.
8. Zanella, R. Metodologías para la síntesis de nanopartículas: controlando forma y tamaño. Mundo nano. Revista interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología, 2012, vol. 5, no 1, p. 69-81.
9. Lee, K.P.; Arnot, T. C.; Mattia, D. A review of reverse osmosis membrane materials for desalination development to date and future potential. J Membr Sci, 2011, vol. 370, no 1, p.1-22.
10. Lange, K.E. The big idea. National Geographic Magazine. [Acceso sep 2017] Disponible en http://ngm.nationalgeographic.com/bigidea/09/desalination (on-line on 07.04.2011).
11. Zhou, S.L.; Li, J.; Hong, G.-B.; Chang, C.-T. Dendrimer Modified Magnetic Nanoparticles as Adsorbents for Removal of Dyes. J. Nanosci. Nanotechnol. 2013, vol. 13, p. 6814–6819. [Google Scholar] [CrossRef]
12. Ng, L.Y., *et al*. Polymeric membranes incorporated with metal/metal oxide nanoparticles: A comprehensive review. Desalination, 2013, vol. 308, no 2, p.15-33.
13. Jung, J.Y., *et al.* Tuneable Sieving of biological regeneration and ammonium exchange of zeolite in modified SBR process. Water Research, 2004, vol. 38, p. 347-354.
14. Jung, J.Y., *et al*. Enhanced ammonia nitrogen removal using consistent biological regeneration and ammonium exchange ofzeolite in modified SBR process. Nanoadsorbents for Remediation of Aquatic Environment: Local and Practical Solutions for Global Water Pollution Problems. Crit. Rev. Environ. Sci. Technol, 2012, vol. 42, p.1233–1295.

Automatización de tamices moleculares para la obtención de alcohol absoluto

Marlen Lorenzo-Maiquez[1]*, Andy Noel Casañas-Marrero[1], Gustavo Saura-Laria[1]
y Luis Alberto González Rodríguez [2]
1. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)
2. Empresa de Ingeniería y Proyectos Azucareros de Sancti Spíritus (IPROYAZSS)
* marlen.lorenzo@icidca.azcuba.cu

RESUMEN

El alcohol absoluto es uno de los antisépticos más utilizados a nivel mundial. Se decide anexar un área de obtención de alcohol absoluto, mediante tamices moleculares, a la destilería Héctor Molina, primera en el país. La tecnología de tamices moleculares se basa en la absorción del agua por lechos de zeolita. Se decide hacer un tratamiento previo al alcohol hidratado, para llevarlo a la fase gaseosa, por las ventajas que ofrece durante la separación y en la protección del medio absorbente. La automatización se concibió como planta completa y está presente en las subáreas siguientes: recepción del alcohol hidratado; preparación previa al proceso de deshidratación; proceso de deshidratación y regeneración; preparación y recepción del alcohol deshidratado y preparación y recepción del alcohol flema. La instrumentación de campo debe ser intrínsecamente segura. La concepción de la automatización garantizó la seguridad del personal y la calidad del producto final.
Palabras clave: tamices moleculares, automatización, instrumentación, alcohol absoluto y destilerías de alcohol.

ABSTRACT

Absolute alcohol is one of the most antiseptics worldwide widely used. To annex an area for obtaining absolute alcohol, through molecular sieves, to Héctor Molina distillery, first in country is decided. Molecular sieve technology is based on absorption of water by zeolite beds. To preliminary treatment hydrated alcohol was decided, for take it to gaseous phase, due to advantages it offers during separation and in the absorbent medium protection. Automation as a complete plant was conceived and is present in the following subareas: hydrated alcohol reception; before preparation to dehydration process; dehydration and regeneration process; dehydrated alcohol preparation and reception and phlegm alcohol preparation and reception. Field instrumentation must be intrinsically safe. Automation concept guaranteed personnel safety and final product quality.
Key words: molecular sieves, automation, instrumentation, absolute alcohol and alcohol distilleries.

INTRODUCCIÓN

El alcohol absoluto es uno de los antisépticos más utilizados a nivel mundial: en la elaboración de medicamentos y productos cosméticos; también en procesos industriales y como combustible, en particular como parte constitutiva de las naftas. Una vía de obtención del alcohol absoluto es mediante tamices moleculares, una de sus ventajas es que propicia un filtrado del alcohol obtenido mediante la eliminación de impurezas y la no introducción de sustancias ajenas al proceso.

En Cuba, la única vía que existe de obtención de alcohol absoluto es por la destilación azeotrópica, que al introducir una nueva sustancia química para romper el azeótropo, limita su uso médico y

en cosmética. Por estas razones, se comienza a trabajar en la concepción de un área de obtención de alcohol absoluto, por tamices moleculares, en la destilería perteneciente a la UEB Héctor Molina.

Por las características del proceso, es imprescindible el uso de la automatización, debido a que su buen funcionamiento depende del control de variables como: la estabilidad del vapor, las diferencias de presión, la generación del vacío y temperatura en el empaque, el grado alcohólico del etanol hidratado, entre otras (1). Además, se debe garantizar el ciclo de trabajo alternado de los tamices.

El presente trabajo muestra la concepción de la automatización para la primera área de destilación de alcohol, por tamices moleculares, del país.

DESARROLLO

Los tamices moleculares son complejos constituidos por una mezcla de cerámicas estables, con porosidad controlada, de estructura rígida en los que, fluidos como el agua, pueden ser almacenados o retirados en sus poros, por medio de absorción, gracias a su gran poder desecante. Se clasifican de acuerdo con el diámetro nominal del poro interno, que provee el acceso al volumen intersticial libre encontrado en la estructura microcristalina. Los agentes adsorbentes más empleados han sido los lechos de zeolita (2).

Para la deshidratación de etanol se utiliza un tamiz tipo 3 Å, lo que significa que el diámetro medio de los caminos intersticiales es de 3 Å, debido a que la molécula de agua tiene un diámetro medio menor a este valor, mientras que la del etanol es mayor (3). Además, las moléculas de agua pueden ser adsorbidas sobre la superficie interna de los poros del tamiz. Estas razones son las que hacen útiles los tamices moleculares para la separación de la mezcla etanol-agua. Poseen una alta superficie polar, lo que permite una capacidad de absorción extremadamente alta para el agua u otros componentes polares en concentraciones extremadamente bajas (4).

La deshidratación de etanol por tamices moleculares ofrece ventajas tecnológicas, como: diseño simple del proceso; larga vida útil; facilidad de regeneración, alta eficiencia, eliminación de pérdidas inherentes al uso de productos químicos, no utiliza sustancias ajenas al proceso, el proceso es inerte y los tamices pueden procesar también impurezas presentes en la corriente de etanol. Como desventajas se puede mencionar que el tamiz se puede deteriorar con cierta frecuencia, en caso de usar el alcohol en estado líquido y el costo de capital inicial es alto.

Este proceso puede realizarse para mezclas etanol-agua, tanto en fase de vapor como en fase líquida; en esta última se requiere aplicar gas caliente, para regenerar el tamiz y desplazar el agua de este; sin embargo, el tamiz se deteriora rápidamente por el choque térmico.

En el esquema tecnológico propuesto, el deshidratador de tamices moleculares opera en fase de flujo descendiente, para la producción de alcohol deshidratado al 99.2 % v/v a 20 ˚C, a partir de una fuente de alimentación del alcohol hidratado, con una graduación aproximada de 93 % v/v a 20 ˚C.

Esta área puede operar de forma autónoma; es decir, sin la necesidad de que se encuentre en operación el área de destilación, debido a la existencia de un tanque pulmón de alcohol hidratado, que permite una operación autónoma del área de deshidratación de aproximadamente 3.5 horas de trabajo. En caso de que no se recupere la operatividad del área de destilación a tiempo, garantiza la parada estable y segura del área de deshidratación.

Previo a pasar por el tamizado molecular, la mezcla debe ser vaporizada, para lo cual pasa por varios pasos de calentamiento y vaporización, que garanticen que el alcohol hidratado llegue a los tamices con las propiedades físicas ideales para la separación.

El alcohol vaporizado pasa por un eliminador de gotas y sigue por una línea de alimentación hasta el tope de los tamices moleculares, donde se distribuye de forma uniforme por toda la columna y conforme al ciclo de trabajo de cada una. En estas columnas los flujos de vapores: de alcohol

hidratado, alcohol deshidratado y alcohol flema se controlan automáticamente. Ambas columnas trabajan de forma alternada: una en extracción y la otra en regeneración o en espera. El ciclo de las dos columnas se garantiza por medio de un control lógico programable secuencial. Las secuencias de trabajo de las válvulas asociadas permiten que las columnas trabajen automáticamente, lo que posibilita realizar el proceso de deshidratación eficazmente.

Durante la deshidratación, la válvula que controla la entrada de vapor de alcohol hidratado del tamiz molecular, que está en extracción, permanece abierta, así como la válvula de salida de alcohol deshidratado del mismo tamiz. El flujo de los vapores del alcohol hidratado pasa a través del lecho del tamiz, donde las moléculas de agua son absorbidas. Cuando los lechos del tamiz molecular en operación se saturan, se lleva a cabo la regeneración de la resina, a través de la succión del agua retenida en el interior de la columna, con el paso de un por ciento del alcohol deshidratado producido, mediante la creación de vacío por el condensador de flema y del eyector, que extrae los gases incondensables.

Al final del proceso de regeneración de la resina, la columna se encuentra con presión negativa en su interior. Se cierra la válvula de entrada de alcohol deshidratado durante la regeneración y, posteriormente, se cierra la válvula de salida de vapor de alcohol flema, del respectivo tamiz y este se encuentra en vacío total.

Cuando se decide comenzar el ciclo de producción de esta columna, se abre la válvula de control de flujo del alcohol deshidratado del fondo de la columna regenerada. Por esta válvula y por la diferencia de presión, parte del alcohol deshidratado que salió del tamiz en actividad de deshidratación fluye para dentro de la columna, que se presuriza mediante la elevación de su presión, hasta que se torne positiva. En ese momento, la válvula de alimentación de vapor de alcohol hidratado se abre, lo que termina de elevar la presión de la columna hasta la presión de operación. Esto mantiene estable el flujo y la presión de los vapores de alto grado, durante el cambio de lechos. En estas condiciones se puede reiniciar un nuevo ciclo alternativo de operación de los tamices.

El alcohol deshidratado pasa al condensador de alcohol deshidratado y al enfriador de alcohol deshidratado, donde después de condensarse y enfriarse, a la temperatura prácticamente ambiental, continúa su trayecto impulsado por la presión de la línea hasta el tanque de alcohol deshidratado o al tanque de alcohol hidratado, según una lógica que mide la calidad del alcohol obtenido.

Los vapores del alcohol flema obtenidos, durante la regeneración de los tamices moleculares, pasan por el condensador de flema que, mediante el intercambio con el agua de enfriamiento y ayudado por el eyector, encargado de la extracción de los gases incondensables, permite la condensación del alcohol flema para su posterior almacenamiento. El eyector, instalado en la línea de salida de la botella del condensador de flema, ayuda a mantener el alto vacío en el interior de este condensador y, por consiguiente, en toda la línea por donde pasan los vapores de alcohol y en los tamices moleculares, durante el ciclo de regeneración.

El alcohol flema se descarga directamente en el tanque de flema y, mediante las conexiones, a la salida de las bombas de flema, una parte se recircula después de pasar por el eyector y, la otra, se envía a un tanque del alcohol flema fuera del área. Por otra parte, al tanque de flema se incorpora el flujo proveniente de la columna de lavado. A la columna de lavado de gases llegan los vapores alcohólicos y gases incondensables, provenientes de los tanques de almacenamiento de alcoholes: de alcohol hidratado y del alcohol deshidratado; los cuales se introducen por el fondo de la columna mediante un tubo cuello de ganso invertido, que permite menos pérdidas de alcohol, por propiciar su condensación. Por el tope de la columna se introduce agua del proceso, que arrastrará el alcohol existente hacia el fondo y, de ahí, al tanque de flema. Los gases agotados y libres del alcohol se liberan a la atmósfera. En la figura 1 se muestra el esquema de flujo del proceso propuesto:

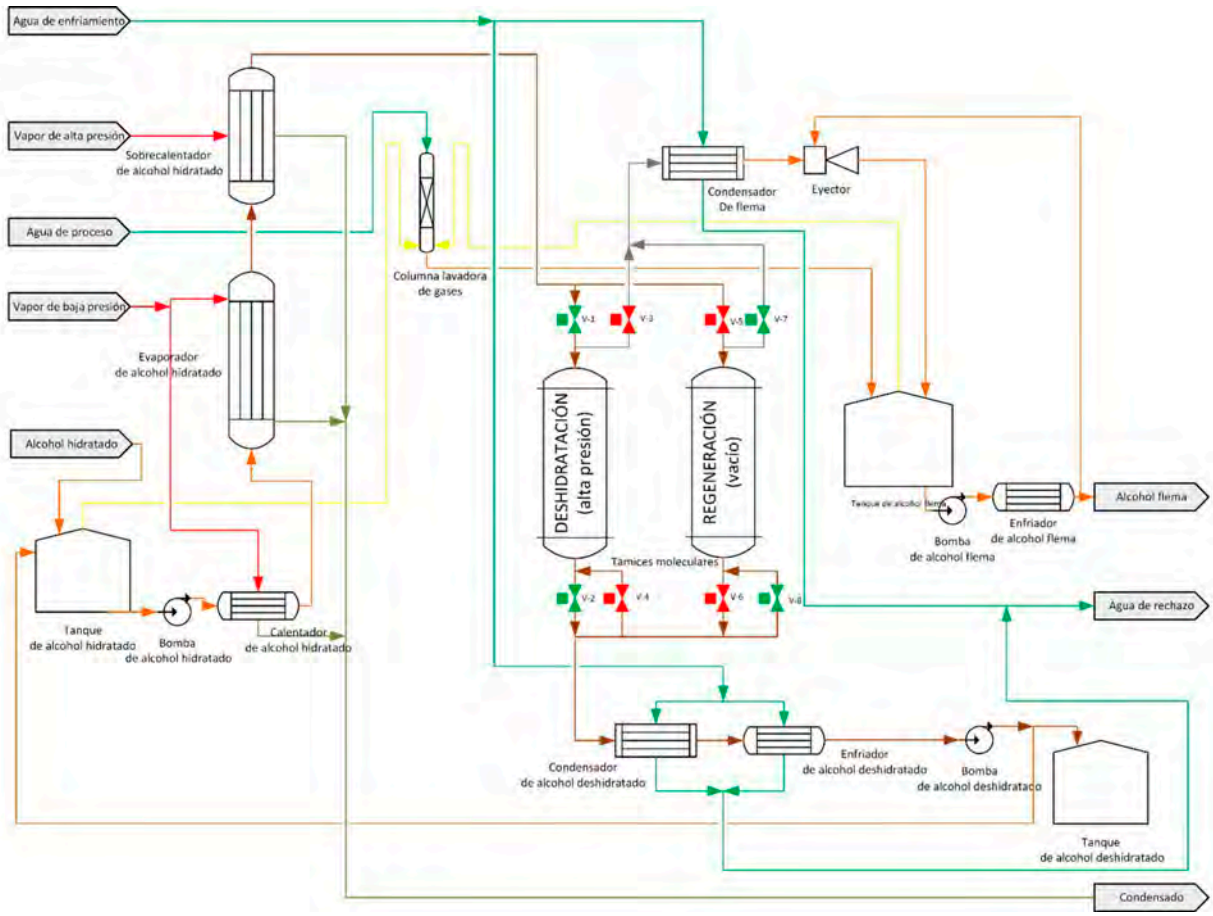


Figura 1. Esquema de flujo del proceso propuesto.

Desde el punto de vista de automatización, se propone un sistema jerárquico, que emplea un sistema de control supervisorio, mediante el uso de un programa de supervisión y control (SCADA, por sus siglas en inglés) que permite el acceso a los datos del proceso. El sistema utiliza computadoras o paneles del operador para el nivel superior de control, con mando distribuido, que implementa con autómatas programables industriales (PLC, por sus siglas en inglés) los Procedimientos Normativos Operacionales (PNO) del proceso tecnológico.

El sistema propuesto es fuertemente integrado, totalmente redundante, con posibilidad de sustitución, sin necesidad de parar el proceso, con sistema moderno de detección de fallas, robusto, confiable, con control secuencial y de regulación para procesos continuos, que debe garantizar el funcionamiento esperado durante la puesta en marcha; funcionamiento normal, limpieza y parada del área. Además, cuenta con un sistema de seguridad independiente al de trabajo habitual de la instalación.

Todo el sistema debe ser a prueba de explosión, por encontrarse en un área con la presencia del alcohol y vapores alcohólicos; incluso, a altas temperaturas. La instrumentación de campo debe ser intrínsecamente segura, con una clasificación mínima EEx – IIB - T2.

Se concibe como una automatización a planta completa, a continuación se muestran algunos de los controles básicos para garantizar la calidad del producto y la seguridad de la operación:

1. En el área de recepción del alcohol hidratado es esencial mantener el nivel en el tanque de recepción, en caso de fallo de la destilería se puede garantizar la parada programada y segura de los tamices moleculares.
2. Preparación previa del proceso de deshidratación: Esta área consta de varios pasos de calentamiento del alcohol y la automatización debe garantizar la seguridad de todos los procesos que utilizan vapor de agua a presiones distintas y los controles de temperatura a la salida de

los intercambiadores de calor. Con estos se garantiza que, a los tamices moleculares, llegue un fluido de alcohol hidratado: con el flujo, temperatura y presión deseados.

3. Proceso de deshidratación y regeneración: En este proceso se obtiene el alcohol absoluto al 99.2 % v/v a 20 ˚C, por lo tanto requiere del mayor nivel de instrumentación y automatización. Es un proceso que sólo puede trabajar de forma automática y debe garantizarse: el trabajo alternado de las columnas de deshidratación: una en producción y la otra en regeneración (mediante un sistema lógico secuencial); un vacío apropiado para garantizar la regeneración de las columnas; las presiones del tope y el fondo de las columnas de deshidratación. Por el tamaño de las columnas y ser empacadas, es un sistema distribuido, que hace necesarias mediciones de temperatura y presión en varios de sus puntos (figura 2).

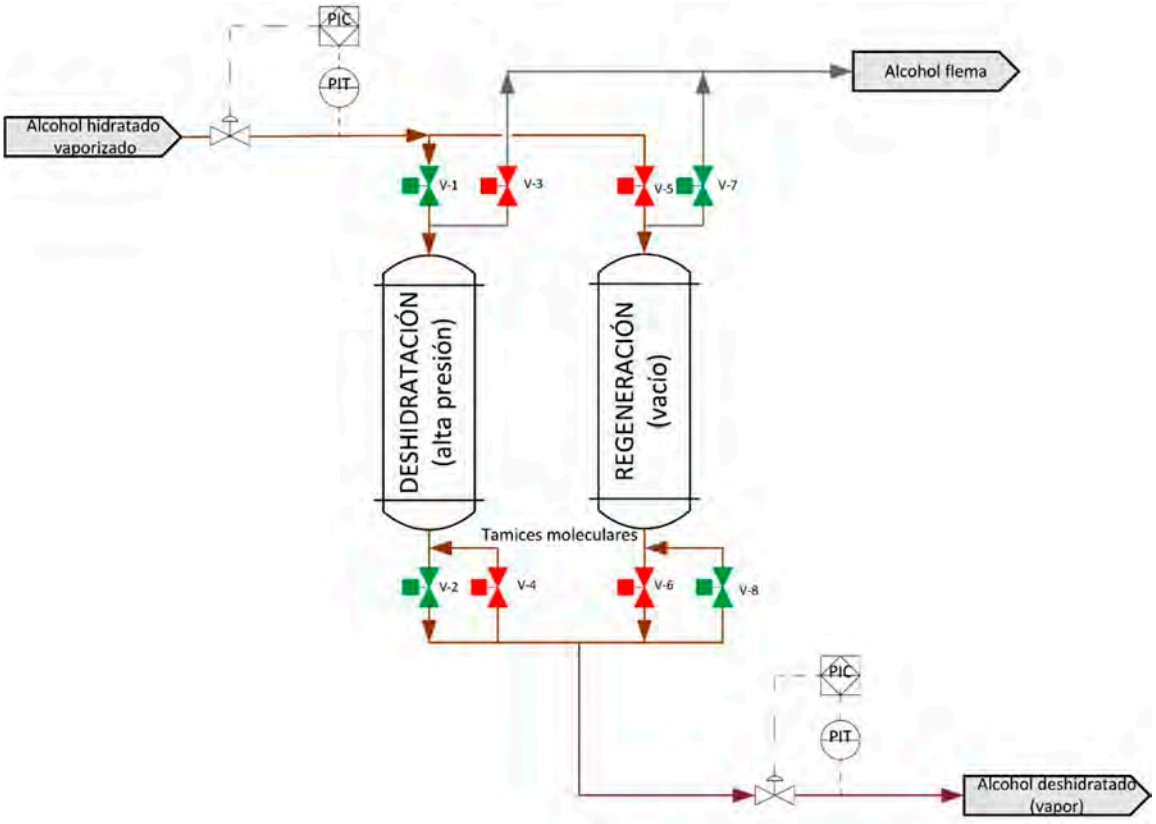


Figura 2. Proceso de deshidratación y regeneración.

4. Preparación y recepción del alcohol deshidratado: se logra el control de temperatura de la condensación del alcohol absoluto. Además, en unión del sistema de control lógico secuencial de control de trabajo de las tamices, el control de densidad del alcohol absoluto permite que al tanque de almacenamiento del producto final no llegue un alcohol que no cumpla las normativas de calidad establecidas (figura 3).
5. Preparación y recepción del alcohol flema: se garantiza la condensación del alcohol obtenido durante la regeneración de los tamices y, además, todos los controles requeridos para el funcionamiento adecuado para el sistema de vacío (figura 4).

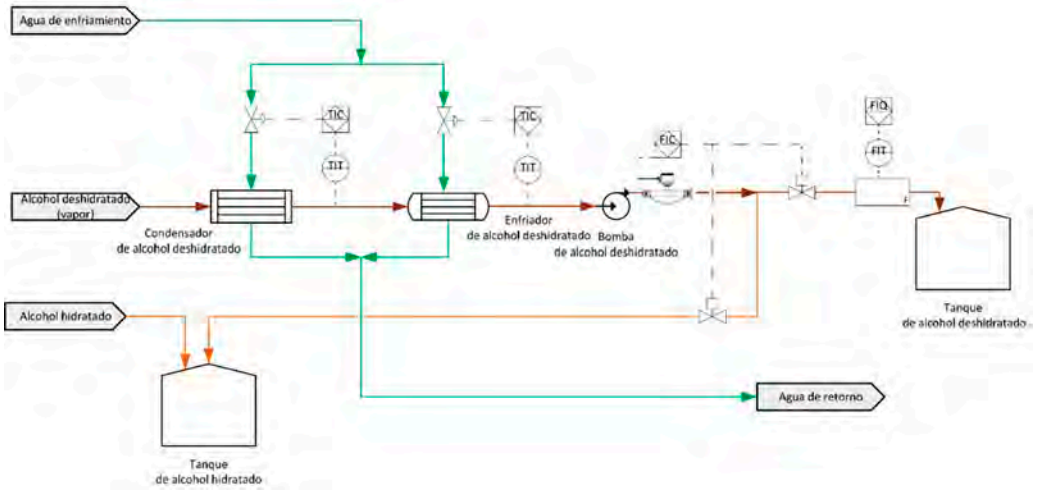


Figura 3. Preparación y recepción del alcohol deshidratado.

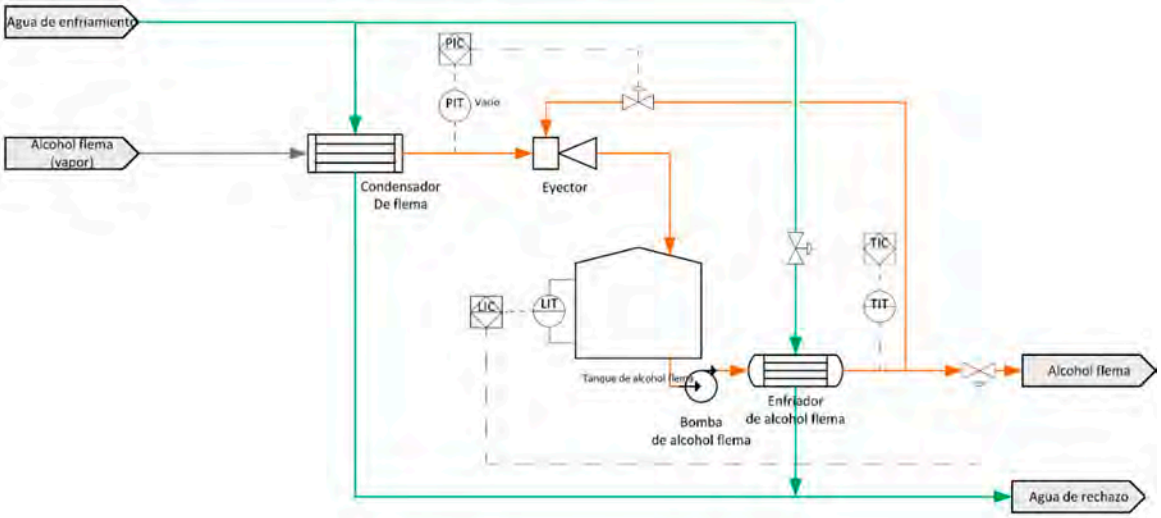


Figura 4. Preparación y recepción del alcohol flema.

CONCLUSIONES

- Por la forma de operar de los tamices moleculares, es imprescindible automatizar la operación de los ciclos de absorción y regeneración.
- Se realizó la ingeniería conceptual de automatización del área de deshidratación del alcohol por tamices moleculares, con una visión de planta completa.
- En la concepción de la automatización, se garantizó la seguridad del personal y la calidad del producto final.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Pérez, I. y Garrido, N. *Aspectos a tener en cuenta en la operación de un sistema de deshidratación de alcohol por tamices moleculares*. ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar, 45(1), pp. 57-63, 2011.
2. Ocampo, A. *et al*. *Uso de zeolitas en la separación de sistemas ternarios*; Congreso de Ingeniería Química, 1993.
3. Madson, P.W.; Monceaux, D.A. *Fuel ethanol production. KATZEN International*, Inc., Cincinnati, Ohio, USA. 2001.17.
4. Montoya, M I.; Quintero, J A. *Esquema tecnológico integral de la producción de bioetanol carburante.* https://www.researchgate.net/publication/38975441. Enero 2005, [18/10/2021].

La vigilancia tecnológica en el Sistema de Gestión de la Calidad, con enfoque a la actividad de I+D+i

Teresa de la Caridad Ledoux-Ovies* y Grisel Ortega-Arias-Carvajal
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
*teresa.ledoux@icidca.azcuba.cu

RESUMEN

Para mantener la competitividad, las empresas deben tener la capacidad/habilidad de percibir las señales indicadoras de los cambios significativos del entorno. Controlar, día a día, las actividades de importantes actores, dentro de su sector y fuera de este, con el objetivo de poder reaccionar a tiempo y en el momento oportuno, para crear nuevos productos y utilizar técnicas de producción más eficientes; crear/comprar e integrar nuevas tecnologías, con eficiencia, calidad y flexibilidad y partir de un enfoque en el que prevalezca una cultura y orientación hacia la calidad y la mejora continua, para asegurar la trazabilidad de procesos y actividades de investigación, que aumenten la confianza en los resultados obtenidos y optimicen los costos, al reducir los errores.

Alertar sobre las innovaciones científicas y técnicas que creen oportunidades para la organización, investigar hallazgos realizados para el desarrollo de productos, servicios y procesos, búsqueda de soluciones tecnológicas, que mitiguen problemas concretos en la empresa, aportar nuevos elementos y enfoques y reducir el riesgo, es la función del sistema de vigilancia tecnológica que se dará a conocer con este trabajo, enfocado en el Sistema de gestión de la calidad, con respecto a la I+D+i.
Palabras clave: vigilancia tecnológica, calidad, investigación, desarrollo e innovación.

ABSTRACT

To maintain competitiveness, companies must have the capacity/ability to perceive the signs indicating significant changes in the environment. Control day by day the activities of important players inside and outside its sector, with the aim of being able to react in time and at the right time, to create new products and use more efficient production techniques; create/purchase and integrate new technologies, with efficiency, quality and flexibility, and based on an approach in which a culture and orientation towards quality and continuous improvement prevail, to ensure the traceability of research processes and activities, which increase the confidence in the results obtained, and optimize costs by reducing errors.

Alert about scientific and technical innovations that create opportunities for the organization, investigate findings for the development of products, services and processes, search for technological solutions that mitigate specific problems in the company, provide new elements and approaches and reduce risk, is the function of the Technological Surveillance System that will be announced with this work, focused on the quality management system with respect to R&D&i.
Key words: technological surveillance, quality, research, development and innovation.

INTRODUCCIÓN

En un mercado global en continuo cambio, las empresas se ven abocadas, con mayor urgencia y presión, a crear nuevos productos y utilizar técnicas de producción más eficientes. Competir con

éxito pasa, cada vez más, por la habilidad y capacidad de adoptar y/o generar nuevos productos/procesos. El grado con el que una empresa es capaz de identificar, crear/comprar e integrar nuevas tecnologías se ha convertido, por tanto, en un factor estratégico de primera necesidad (1).

En la actualidad, se reconoce que las empresas se enfrentan a entornos que requieren elevadas dosis de eficiencia, calidad y flexibilidad. Estas encuentran cada vez más dificultades para distinguirse de sus competidoras. La innovación se convierte, entonces, en la palabra mágica. Estas circunstancias han colocado a las unidades de I+D en el centro de la batalla competitiva y provocan un profundo cambio en el rol de esta función organizacional.

La gestión de calidad es aplicable en la función de I+D y, tanto la toma de decisiones como la ejecución de proyectos en estas unidades, pueden mejorarse mediante el uso de un tipo común de herramientas de calidad. Las tablas de estrategia, diagramas de influencia, análisis de sensibilidad, árboles de decisión y matrices portafolio se han desarrollado procedentes del movimiento de toma de decisiones con calidad y complementan las herramientas que se aplican.

El concepto Calidad ha evolucionado con el tiempo, desde la época artesanal, cuando la calidad dependía de las personas que realizaban una determinada función o tarea (Control de calidad) y se fundamentó, más tarde, en la inspección para comprobar que el producto o servicio era adecuado (Aseguramiento de la calidad), hasta el presente en que está completamente ligado a los clientes, como receptores de un producto o servicio, a su grado de satisfacción y a la mejora continua de las organizaciones (Gestión de la calidad) (2) (figura 1).

CALIDAD *QUALITY*	CONTROL CALIDAD *QUALITY CONTROL*	ASEGURAMIENTO CALIDAD *QUALITY ASSURANCE*	GESTIÓN CALIDAD *QUALITY MANAGEMENT*
Se orienta a *Aimed at*	La producción *Production*		Al cliente *Customer*
Se actúa porque *One acts because*	Se ha detectado algún error *An error has been detected*		Existen objetivos planificados *There are planned targets*
Se actúa para *One acts to*	Controlar errores *Control errors*	Modificar procedimientos *Modify procedures*	Eliminar las causas de los errores *Eliminate the causes of errors*
Se aplica a *Applied to*	Productos o servicios *Products or services*	Procesos de producción *Production processes*	Todos los procesos *All processes*
Participación personal organización *Organization personnel involvement*	No se espera *Not expected*	No es indispensable *Not essential*	Es imprenscindible *Essential*
Mejora continua *Continuous improvement*	No se descarta *Not ruled out*	Es deseable *Desirable*	Es un requisito *A requirement*
Se materializa en *Results in*	Plan de inspección *Inspection Plan*	Manual de Calidad *Quality Manual*	Sistema de Gestión de la Calidad *Quality Management System*

Figura 1. Evolución del concepto Calidad.

El concepto actual de Gestión de la calidad comprende el conjunto de actividades coordinadas, encaminadas a lograr la satisfacción del cliente externo e interno, al menor costo posible, de forma eficaz y competitiva, es una estrategia de gestión que implica a toda la organización y requiere una estructura, unos recursos y unos procesos (2).

El objetivo del presente trabajo es abordar la influencia de la implantación de la Vigilancia tecnológica en el sistema de gestión de la calidad, enfocados en la Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i), así como su desempeño.

MATERIALES Y MÉTODOS

Mediante la revisión de documentos se exploró todo lo que abarca la Vigilancia tecnológica en la gestión de la calidad, con respecto a la investigación, el desarrollo y la innovación. Un enfoque

amplio sobre todos los aspectos que se tienen en cuenta en el mundo, en cuanto a su aplicación y desarrollo en las empresas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La gestión de la calidad en la I+D+i

La gestión de la calidad se ocupa de coordinar, dirigir y controlar las actividades de la organización y parte de un enfoque en el que deben prevalecer cultura y orientación hacia la calidad y la mejora continua.

Las prácticas de gestión de la calidad y de gestión del conocimiento son dos mecanismos de dirección complementarios, que contribuyen a la obtención de un desempeño superior, ayudan a vislumbrar cómo las prácticas de calidad pueden conducir hacia la creación y retención del conocimiento y repercuten, positivamente, en los resultados organizativos. Estas contribuyen a expandir el desarrollo del mercado, incrementan su competitividad, contribuyen a mejorar la innovación, través de una mayor inversión en I+D, a propiciar una orientación al mercado de la empresa, con tal de conocer mejor las necesidades de los consumidores y ofrecer lo que estos desean y mejorar su satisfacción (3).

Los fundamentos básicos de la Gestión de la calidad fueron establecidos por Edward W. Deming, en la década de los 50, dieron lugar a una metodología conocida como Rueda de Deming o Ciclo PDCA, enfocada a la resolución de problemas y a la mejora continua (2), (figura. 2).

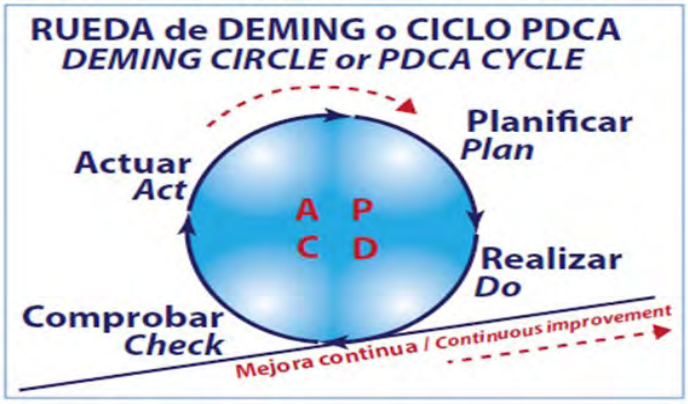


Figura 2. Ciclo Rueda de Deming.

Este ciclo se basa en el seguimiento de cuatro pasos: Planificación (Plan), Realización (Do), Comprobar (Check) y Actuar (Act).

La primera etapa es la Planificación (Plan), en la que se establecen los objetivos y se decide la metodología más adecuada para conseguirlos; la segunda es la Realización (Do) del trabajo y las acciones previstas para alcanzar los objetivos planificados anteriormente; la tercera es Comprobar (Check) que lo realizado concuerde con lo planificado, para detectar e identificar las posibles desviaciones, los errores cometidos, así como las causas que los han originado; y, la cuarta es actuar (Act), para llevar a cabo las acciones necesarias con vistas a resolver las desviaciones y errores detectados en la etapa anterior. Este proceso es continuo ya que, a partir de estas acciones, se realiza una nueva Planificación hasta que la mejora identificada esté implantada, su eficacia comprobada y el proceso consolidado (2).

Los aspectos que se consideran fundamentales para que un sistema de gestión de la calidad pueda llegar a ser implantado y funcione adecuadamente son: El compromiso de la Dirección; la

adhesión y convencimiento de las personas que forman parte de la organización; la satisfacción del cliente; la eficiencia y la mejora continua (2).

Al aplicar la gestión de la calidad en la I+D+i se logra, mediante su ejecución, que se garanticen los resultados y productos de la investigación y se asegure la trazabilidad de procesos y actividades de investigación. La intención es emplear las herramientas de la gestión de calidad en los procesos principales, los que aportan valor a los procesos de apoyo a la investigación.

Comportamiento de la implantación de la gestión de la calidad en la I+D+i, en el mundo

La importancia estratégica de la investigación científica y tecnológica en el mundo actual se hizo evidente a partir de los años 60 del siglo XX. Debido al rápido crecimiento de los recursos en I+D+i, se empezaron a recoger datos estadísticos y fue necesario normalizar las definiciones y clasificaciones para disponer de información comparable entre instituciones y países. La OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos), empezó a elaborar diversos manuales metodológicos para medir y analizar las actividades científicas y tecnológicas. Actualmente, estos manuales constituyen el punto de partida obligado para delimitar la recogida e interpretación de datos sobre I+D+i. Para ello designa, al mismo tiempo, 3 conceptos diferentes: Investigación básica, Investigación aplicada, desarrollo experimental.

Son muchos los países que aplican el concepto de gestión de la calidad en la actividad de I+D+i, entre ellos están, por ejemplo, Francia, España y Argentina.

Visión Francesa: las normas de calidad en investigación

Francia ostenta el desarrollo del concepto de calidad en investigación y ha plasmado en sus normas el modelo que relaciona los principios de la gestión de la calidad en investigación con las fases del proceso principal. Presenta, además, una norma que ofrece recomendaciones para gestionar la calidad en investigaciones, a modo proyecto en red, modalidad cada vez más utilizada y valorada (4).

AFNOR (Association Française de Normalisation) es la encargada de poner en marcha un comité de normalización dedicado a este tema. Del trabajo de este comité ha surgido la familia de normas de calidad en investigación, las primeras de ellas en el año 2001 y que hoy se encuentran vigentes:

- **FD X 50-550: Démarche qualité en recherche. Principes généraux et recommandations, Ed Afnor, Octobre 2001:** Gestión de la calidad en investigación, Principios generales y recomendaciones. La norma aclara, en su campo de aplicación, que se entiende por actividades de investigación a la preparación, organización, realización de los trabajos y los inevitables ajustes, la utilización de los resultados y las nociones del análisis de riesgo integrado. Declama que la calidad en investigación debe ser flexible y adaptada a los investigadores, en virtud de que la actividad científica implica la gestión de lo inesperado, el riesgo de no alcanzar el fin previsto e, incluso, tener que desviar el curso de la investigación (4).

Luego la norma justifica el porqué implementar calidad en investigación desde diferentes miradas:

- **Científica** (no todo queda escrito en un trabajo de tesis por ejemplo, ya que hay mucho saber hacer del doctorando que si no está sistematizado se pierde)
- **Económico-financiera** (eficiencia de los recursos de cara a su competitividad **la de la sociedad y el ambiente** (le reclaman a las organizaciones de ciencia que estimen la incertidumbre de los datos aportados que afectan)
- **Organización de investigación y sus investigadores** (estos sistemas complementan a la evaluación por pares).

Posteriormente, presenta los tres principios que fundamentan la coherencia y robustez de la calidad en investigación (figura 3)

- **Pragmatismo**: dado que los procesos no se pueden definir de manera única, los investigadores deben definir las herramientas apropiadas para aplicar el plan PHVA10.
- **Pedagogía**: este apunta al desarrollo de una cultura de la calidad, principalmente, en los investigadores jóvenes.
- **Integración**: enfocada en las relaciones del grupo de investigación con otras dependencias de servicios, tales como la administración, informáticas, compras, entre otras. La buena gestión de los procesos, de cada uno de estos, incide directamente sobre la calidad en investigación.

Figura 3. Principios de la calidad en la investigación.

Para una mejor conceptualización, la norma francesa brinda, en cada ítem, los criterios de calidad aplicables y, a modo de conclusión, puntualiza una serie de perspectivas al tema: gerenciamiento de la entidad, valorización y reconocimiento de las personas y control de los riesgos.

- **GA X 50-552: Guided'application de l'ISO 9001 dans des organismes de recherche, Ed Afnor, Novembre 2004**: Guía de aplicación de la ISO 9001 a las organizaciones de investigación. Formula interpretaciones para ayudar a la implementación del modelo de gestión, por procesos, de la ISO 9001. Trata de interpretar el espíritu de las organizaciones de I+D+i y de sus integrantes, para aplicarles a sus procesos sistemáticos las herramientas de calidad (4).

Visión Española: las normas UNE

La normalización de las actividades de I+D+i en España es promovida por AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación) y asociaciones sectoriales interesadas en incentivar la I+D+i, que constituye el Comité Técnico de Normalización para actividades de I+D+i, integrado por representantes de todos los sectores interesados, públicos y privados (4).

El Comité específico establecido en AENOR presentó en el año 2002 y actualizado en 2006 la familia de Normas UNE 166000, formada por:

- **Norma UNE-EN ISO 9001.** Está enfocada en la gestión por procesos y contempla una serie de requisitos para asegurar la calidad del diseño y desarrollo y de la producción o prestación de un servicio. Este modelo puede ser aplicado a toda la organización y es certificable por entidades independientes. Sigue el ciclo PDCA o de Deming y considera, como entrada, los requisitos del cliente y, como salida, el producto y la satisfacción del cliente. En este Sistema de gestión son fundamentales la responsabilidad de la dirección que suministra los recursos, la realización del producto, a través de los procesos implementados y la medición, análisis de los resultados y las actividades de mejora (2).
- **UNE 166001:2006 – Gestión de la I+D+i:** Requisitos de un proyecto de I+D+i. El objetivo es "ayudar a las organizaciones a sistematizar, definir, documentar y desarrollar proyectos de I+D+i", a la luz de aportar "transparencia" sobre el contenido en I+D e innovación, que faciliten

el acceso a las desgravaciones fiscales y subvenciones que otorga el estado a las empresas innovadoras (4).

- **UNE 166002:2006 – Gestión de la I+D+i:** Requisitos del Sistema de Gestión de I+D+i. Terminología y definiciones de las actividades de I+D+i. Contiene los requisitos y directrices prácticas para la formulación y desarrollo de políticas de I+D+i, para el establecimiento de objetivos, identificación de tecnologías emergentes o nuevas tecnologías no aplicadas hasta el momento en su sector, cuya asimilación y posterior transferencia proporcionarán la base para generar proyectos, potenciar sus productos, procesos o servicios y mejorar su competitividad (4).
- **UNE 166004:2003 EX – Gestión de la I+D+i:** Competencia y evaluación de auditores de sistemas de gestión de I+D+i.
- **UNE 166006:2006 EX – Gestión de la I+D+i**: Sistema de Vigilancia Tecnológica. Permite realizar, de manera sistemática, la observación y búsqueda de señales de cambio y novedades, enfocadas a la captura de información para convertirla en conocimiento que permita la toma de decisiones. Facilita a las empresas la identificación de las áreas tecnológicas de su interés. Los sistemas de gestión basados en esta familia de normas son certificables por entidades independientes.
- A diferencia de otras normas de gestión de calidad, por ejemplo, la ISO 9001:2000 y la familia UNE 166000 abordan los procesos de diseño–desarrollo–validación, sin obviar los canales *a priori* de adquisición de información y *a posteriori* de explotación de los resultados.
- Las normas UNE de I+D+i elaboradas por AENOR han sido aceptadas en Brasil y México. En Brasil ya están certificando Sistemas de Gestión de I+D+i sobre la base de estas. En México están estudiando la transposición de estas normas a su sistema.

Otras normas UNE

- **Norma UNE-EN ISO/IEC 17025**: contiene todos los requisitos a cumplir por los laboratorios de ensayo y calibración que deban demostrar, tanto su competencia técnica, para desarrollar las actividades definidas en el alcance, como su capacidad para generar resultados técnicamente fiables. Contempla requisitos, tanto de gestión como técnicos, los requisitos de gestión basados, fundamentalmente, en los criterios establecidos en la norma UNE-EN ISO 9001. Los sistemas de gestión de la calidad basados en esta norma no se certifican por entidades independientes, sino que se acreditan.
- **Norma UNE-EN ISO 15189**: es específica de competencia técnica para los laboratorios de análisis clínicos e incluye los requisitos de toma de muestra e interpretación de resultados. Su estructura es similar a la de la norma UNE-EN ISO/IEC 17025 y los sistemas de gestión de la calidad basados en ella no se certifican, sino se acreditan.
- **Norma UNE-EN ISO 17020**: es una norma para la mejora de las inspecciones y de los informes de auditoría y su objetivo es armonizar los requisitos que deben cumplir los organismos de inspección. Su ámbito incluye, entre otros, el examen de materiales, productos, instalaciones, plantas, procesos, procedimientos de trabajo o servicio, la determinación de su conformidad con los requisitos y la emisión del informe de resultados y su comunicación con los clientes. Al igual que en el caso de las normas UNE-EN ISO 17025 y la ISO15189, los sistemas de gestión de la calidad conformes a esta norma-son acreditados.
- **Norma UNE-EN ISO/IEC 27001:** determina los requisitos para un Sistema de Gestión de la Seguridad de la Información (SGSI). La norma se ha concebido para garantizar la selección de controles de seguridad adecuados y proporcionales, para ayudar a proteger los activos de información y otorga confianza a cualquiera de las partes interesadas. Esta norma adopta un enfoque por procesos, basado en la norma UNE-EN ISO 9001 y es certificable.

Buenas Prácticas de Laboratorio (BPL) o GLP (Good Laboratory Practice)

Las BPL establecen las condiciones bajo las cuales se planifican, realizan, controlan, registran, archivan e informan los estudios realizados por determinados laboratorios y son promulgadas por organismos internacionales, como la "Organization for Economic Cooperation and Development (OCDE) o la Food and Drug Administration (FDA). Estas normas surgieron para asegurar que los resultados de sus ensayos eran fiables. Los requisitos establecidos buscan asegurar la calidad e integridad de los resultados producidos en determinados tipos de estudios, en general, no repetitivos y que requieren la toma de decisiones y el juicio profesional en fases intermedias, con el objetivo de que puedan ser aceptados por distintas organizaciones y países. El cumplimiento de los requisitos de las BPL se certifica por áreas de certificación.

Normas de Correcta Fabricación (NCF) o GMP (Good Manufaturing Practice)

Las NCF aseguran que los medicamentos sean elaborados y controlados de acuerdo con las normas de calidad apropiadas al uso para el que están destinados. La Comisión Europea adoptó dos Directivas que establecen los principios y directrices de las NCF de medicamentos: La Directiva 2003/94/CE de medicamentos en investigación de uso humano y la Directiva 91/412/CEE de medicamentos de uso veterinario. Los requisitos de las NCF comprenden el sistema de calidad farmacéutico, personal, locales y equipos, documentación, producción, control de la calidad, subcontratación, reclamaciones y retirada, autoinspección y los anexos que correspondan al alcance.

En España el organismo de normalización ha desarrollado normas que tienen en cuenta la naturaleza interactiva, no lineal, entre la innovación y las actividades de investigación y desarrollo que permiten certificar tanto los proyectos innovadores como los sistemas de gestión de I+D+i. Este mecanismo otorga a las organizaciones numerosas ventajas, una de las cuales es la posibilidad de acceder a la desgravación de impuestos, con lo que se pretende lograr un aumento de la inversión privada en actividades deI+D+i.

Visión Argentina: la guía 30800

El IRAM constituyó el Grupo de trabajo Calidad en Investigación y Desarrollo con diversos representantes del sistema nacional de ciencia y tecnología, de organismos del estado, de universidades, de entidades de regulación y de otras organizaciones con interés en el tema (4).

El principio de sus normas determina que la calidad en I+D+i es implementar un sistema de gestión que:

- Garantice los resultados y productos de la I+D+i
- Asegure la trazabilidad de los procesos
- Involucre las actividades de apoyo y servicios

Precisan, además, lo siguiente:

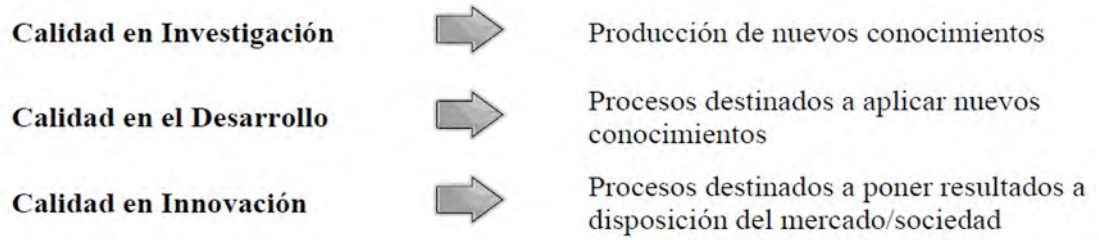


Figura 4. Calidad en la I+D+i.

Actualmente se encuentra en estado de preparación, en etapa de discusión pública, la norma IRAM 30800 "Guía para la interpretación de la norma IRAM: ISO 9001:2008 en actividades de in-

vestigación, desarrollo e innovación". Esta pretende brindar orientación o lineamientos a las organizaciones de I+D+i así como aportar ejemplos de diferentes clases de estas organizaciones (4).

Argentina está comenzando la normalización en la temática, a través de la confección de una guía de implementación de la ISO 9001, la cual es una opción que muchos otros países también eligieron. Esta proporciona lineamientos para las organizaciones de investigación que desean gestionar su calidad en investigación con el modelo de procesos para, concluir con la obtención de un certificado por terceras partes.

Metodología para la gestión de calidad en la I+D+i

Antes de diseñar y desarrollar un sistema de gestión de la calidad en una organización, hay que decidir primero si se tiene interés respecto a la certificación.

La **Certificación** está orientada a la evaluación del grado de cumplimiento de los productos y/o servicios, respecto a unas normas; mientras que la **Acreditación** reconoce la competencia técnica de un laboratorio para la realización de ciertas actividades, claramente definidas para la evaluación de su conformidad (2).

Esta evaluación de la conformidad que contempla la acreditación, comprende, entre otras actividades, la certificación, la calibración en cualquier área, los ensayos químicos, los ensayos de materiales, la Inspección Técnica de Vehículos, entre otros.

Una vez decidido el sistema de gestión de la calidad que mejor se ajuste a las necesidades de la organización, laboratorio o grupo de investigación, su desarrollo estará basado en tres etapas fundamentales, que son:

1. **Documentación:** Consiste en documentar con detalles las actividades que se llevan a cabo (procedimientos / instrucciones), que indican las responsabilidades de las personas implicadas, los medios o información necesarios y los resultados que se esperan (2).
2. **Implantación:** Es la etapa en la que se comprueba que se cumple aquello que se explica en la documentación del sistema de gestión de la calidad y se corrigen o adaptan los procesos y la documentación, de forma tal que sea coherente lo escrito con lo observable. Esta etapa llega a su fin con la auditoría interna, en la que se comprueba, de forma rigurosa, que todo se lleva a cabo de acuerdo con lo descrito en la documentación. Es una especie de ensayo general con vistas a la auditoría externa de certificación o acreditación (2).
3. **Certificación o Acreditación:** Consiste en la verificación por la entidad de certificación o por la de acreditación que se cumple todo lo reflejado en la documentación del sistema, de conformidad con la norma. Al término de la auditoría externa, se emite un informe con los resultados de ésta y, en el caso de que se detecten desviaciones, la organización debe contestarlas y subsanarlas en un plazo determinado, para conseguir el certificado que acredite que cumple con los requisitos establecidos en dicha norma (2).

Es importante destacar que la eficacia de un sistema de gestión de la calidad depende, en gran medida, de su documentación, ya que es la herramienta de transmisión de conocimientos y experiencias acumulados, para que todas las personas involucradas, incluidas las sustituciones de personal y las nuevas incorporaciones, desarrollen sus actividades del modo determinado previamente por la organización y que asegura su calidad. La implantación de un sistema de gestión de la calidad supone, en general, un conjunto de ventajas para las organizaciones en relación con el modo de operar anterior.

La actividad de I+D en las empresas y la calidad

Hoy en día se reconoce que la calidad es aplicable en la función de I+D (1). Por ello se hace necesario que los principios de gestión de la calidad calen en las estructuras de las unidades empresa-

riales de I+D; provoque una redefinición de sus objetivos y metas y que intente evaluar los proyectos de I+D, no sólo a tenor de indicadores de gasto y presupuestarios sino también en función de criterios de satisfacción de clientes externos e internos, cumplimiento de los plazos de tiempo previstos, reducción, si de los tiempos medios de puesta a punto y finalización de los proyectos, adopción de un enfoque de los proyectos de I+D más conscientes de las actividades de los competidores (benchmarking), facilidad de fabricación posterior a los nuevos productos, entre otros.

La gestión de la calidad incrementa las oportunidades de hacer las cosas bien. Para ello, la investigación y desarrollo deben haberse planificado con una total comprensión de las expectativas de los clientes (1).

Para conocer en qué grado las unidades y divisiones de I+D funcionan, según principios y técnicas de calidad, debemos tener en cuenta cuatro grandes apartados:

- **Benchmarking competitivo:** permite compararse con otras empresas (1) y establecer orientación a los clientes, liderar la alta dirección, para lograr formación y mejora continuas.
- **El tiempo de ejecución como factor competitivo:** el tiempo de entrega de los pedidos, el tiempo de elaboración de sus productos, el tiempo de atención o respuesta a las quejas de sus clientes, entre otros, se convierte en una variable importantísima, que se sigue y controla con cuidado exquisito, ya que el tiempo es un factor que condiciona bastante la percepción de los clientes, internos-externos, sobre la calidad de la empresa (1).
- **Formación de grupos interdepartamentales y simplificación de procesos:** Conectar la investigación y desarrollo de un nuevo producto con otras áreas de la organización como la fabricación, la logística, las finanzas y el mercado es algo que se ha revelado desde hace tiempo como fundamental, para evitar errores, contratiempos, pérdida de tiempo y recursos en rediseñar las cosas y, sobre todo, simplificar los procesos.
- **Evaluación del desempeño:** Otro principio clave de la gestión de calidad es el de medir para mejorar, pues sin medición no puede constatarse la intensidad y dirección de la mejora. Los procedimientos de control y evaluación de proyectos, su grado de formalidad y su frecuencia pueden ser criterios útiles a la hora de medir los esfuerzos en Calidad de la I+D (1).

La vigilancia tecnológica para los sistemas de I+D+i. Su implementación en la empresa

Sobre la base de los conceptos de metrías, especialmente en lo que respecta a la bibliometría, la cienciometría y la patentometría surge la vigilancia (figura 5) (5).

El origen del concepto de Vigilancia Tecnológica (VT) se remonta al año 1988, y se enfoca en la búsqueda de información que se extrae de la competencia, a partir de la identificación de distintas

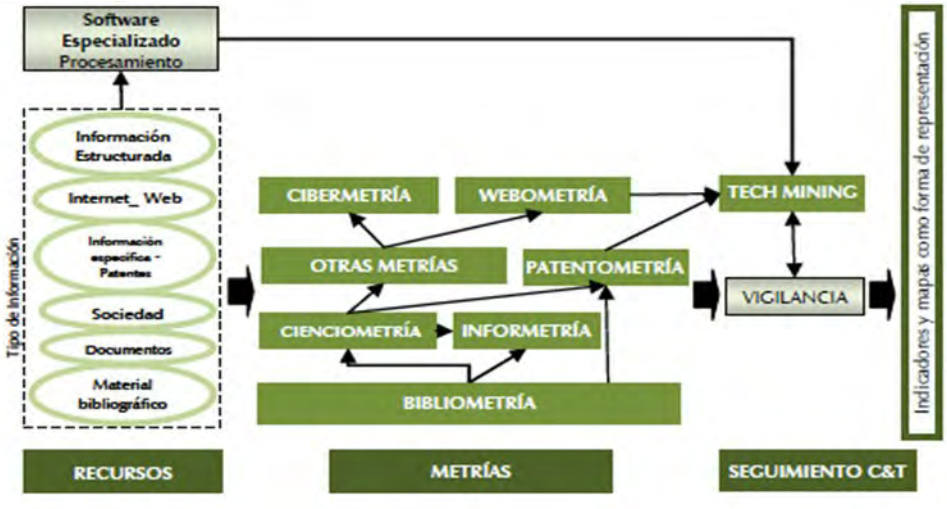


Figura 5. Representación del aporte de las metrías a la Vigilancia Tecnológica.

fuentes y su posterior tratamiento, a través de técnicas estadísticas, para ello han desarrollado varias técnicas encaminadas al análisis, tanto de bases de datos como de textos (5).

Figura 6. Acepciones de Vigilancia Tecnológica empleadas a nivel mundial.

En diferentes partes del mundo se evidencia un auge creciente en los enfoques formales de vigilancia e inteligencia competitiva, como modo de mejorar la captación, análisis y uso de la información detectada y analizada en las empresas (figura 6).

En aquellas instituciones que basan su desempeño en la utilización intensiva y continua del conocimiento, la tecnología y la innovación (centros de investigación, universidades), necesitan mantenerse actualizados en los avances de la ciencia y la innovación tecnológica, importante para conservar su desempeño exitoso y lograr eficiencia y eficacia en las actividades que desarrollan.

Muchas veces no se vigila lo suficiente y cuando una organización consigue elaborar un producto se encuentra que este ya está patentado; es por ello que el empleo de la función de la vigilancia tecnológica, como sistema de prevención, hace que se realice un constante y amplio rastreo de información relevante, para organizar y localizar colectivamente los esfuerzos individuales sobre sucesos que puedan ser relevantes para la organización. Es “el proceso organizado, selectivo y sistemático, para captar información del exterior y de la propia organización sobre ciencia y tecnología, seleccionarla, analizarla, difundirla y comunicarla, para convertirla en conocimiento, con el fin de tomar decisiones con menor riesgo y poder anticiparse a los cambios”.

Se pueden determinar las siguientes funciones de la VT, en cuanto al sistema de I+D+i:

- Alertar sobre amenazas con repercusión en el mercado, desde sectores distintos al de la empresa.
- Ayudar a decidir el programa de I+D y su estrategia.
- Detectar oportunidades de innovación e inversión.
- Facilitar la incorporación de nuevos avances tecnológicos a los propios productos y procesos.
- Identificar socios adecuados en proyectos conjuntos de I+D ahorrando inversiones.

Tipología de la vigilancia

A partir del modelo de Michael Porter de fuerzas que caracterizan la posición competitiva de la empresa (6), se habla de cuatro tipos de vigilancia:

1. **tecnológica:** centrada en el seguimiento de los avances del estado de la técnica y, en particular, de la tecnología y de las oportunidades / amenazas que genera,
2. **competitiva**: implica un análisis y seguimiento de los competidores actuales, potenciales y de aquellos con producto substitutivo,
3. **comercial:** dedica la atención a los clientes y proveedores,

4. **entorno:** centra la observación sobre el conjunto de aspectos sociales, legales, medioambientales, culturales, que configuran el marco de la competencia.

La importancia de la VT como factor imprescindible para el éxito en la gestión de proyectos I+D en la organización

La Vigilancia Tecnológica (VT) es una herramienta fundamental en el marco de los sistemas de gestión de I+D+i, es una herramienta que, de manera sistemática, detecta, analiza, difunde, comunica y explota las informaciones técnicas útiles para la organización, alerta sobre las innovaciones científicas y técnicas susceptibles de crear oportunidades y amenazas para esta, investiga los hallazgos realizados para el desarrollo de productos, servicios y procesos y, en algunos casos, busca soluciones tecnológicas a problemas concretos de la organización. Además aporta nuevos elementos y enfoques, para reducir el riesgo (7).

A manera de resumen, el objetivo principal de los procesos de Vigilancia Tecnológica es convertir información en conocimiento para la organización. Conocimiento para ser utilizado en los ajustes de proyectos y estrategias, entre otros. Este conocimiento se refleja en informes que describen las tendencias y cambios significativos para la organización, que se denominan: Informes de Vigilancia Tecnológica (8).

Con el fin de mejorar el (Sistema de Vigilancia Tecnológica) SVT de cualquier centro, existen diferentes etapas que son necesarias para implantarlo y que gestione proyectos I+D (figura 7).

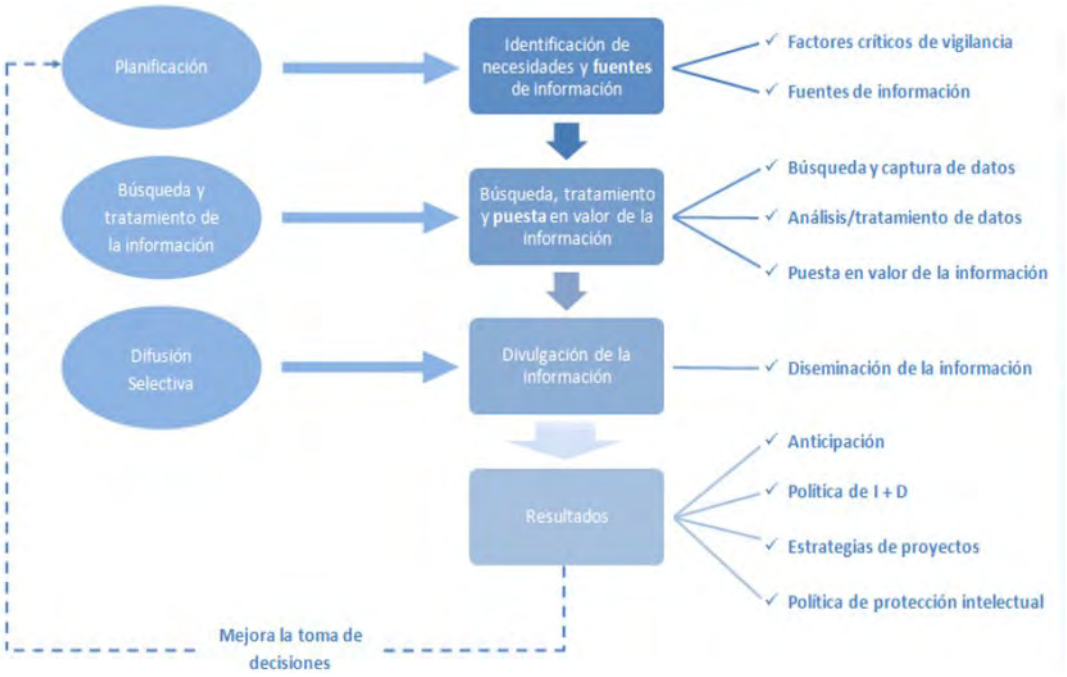


Figura 7. Metodología de vigilancia tecnológica, según la norma UNE166006 de 2006.

Para la ejecución de la VT, la norma propone una serie de procesos: identificación de necesidades, fuentes y medios de acceso de información; búsqueda, tratamiento y validación; valoración de la información, resultados, medición y mejora

En los centros de investigación se hace necesario involucrar la mayor cantidad de actores posibles y el uso de herramientas de captura, análisis, procesamiento y difusión de la información, así como de indicadores de control de este proceso y de los propios programas estratégicos de investigación. Para este caso se recomienda el uso de los procesos definidos en la Norma UNE 166006 EX Gestión de la I+D+i: Sistema de Vigilancia Tecnológica.

Otros ejemplos de metodologías implantadas

Otra metodología fue la realizada por Sánchez y Palop (9), la cual comprende a toda la organización y a su entorno, que involucra con distintas responsabilidades y tareas.

Esta metodología incluye cinco etapas: planeación, búsqueda y captación, análisis y organización, inteligencia y comunicación (figura 8).

Figura 8. Metodología de Vigilancia Tecnológica (9).

La etapa de planeación comprende la identificación de necesidades y fuentes de información. El objetivo de la etapa de búsqueda y captación es la identificación y determinación de los recursos disponibles, que contiene actividades como: observar, descubrir, buscar, detectar, recolectar y captar. En la siguiente etapa, se analiza, trata y almacena la información. Luego se le da un valor añadido a la información, se busca incidir en la estrategia de la organización; y, por último, se comunica a los directivos de la organización, se difunde la información y se transfiere el conocimiento.

Incorporación del sistema de vigilancia a la cultura de calidad: la "memoria" de la empresa

Tener los procedimientos rutinarios o susceptibles de sistematización bien documentados es una práctica cada vez más frecuente, gracias a los sistemas de calidad implantados en las industrias. Sin embargo, los procedimientos innovadores o los hitos no habituales, como pueden ser la implantación en un nuevo mercado o la cooperación con un nuevo socio internacional, no suelen estar bien asimilados y recuperables en cualquier momento, por la empresa. (10). Todos los esfuerzos y prácticas de implantación de un sistema de vigilancia requieren, a su vez, ser registrados y formalizados en procedimientos a incorporar y seguir normas a la cultura de calidad de la empresa.

Situación de la VIT en el contexto internacional

Para facilitar la gestión y asimilación de tecnologías y las correspondientes implicaciones económicas a sus empresas, se evidencia dentro de Europa y fuera de ella que países, como: Corea del Sur, Taiwan, Hong Kong han sobrepasado, en varios ámbitos su capacidad industrial y tecnológica y han registrado en las dos últimas décadas los ritmos de crecimiento económico más importantes (11).

Dentro de Europa destacan, Escandinavia, Alemania, Reino Unido, desde los gobiernos de Thatcher, y el impulso tomado en Francia desde los resultados de las Comisiones gobierno-empresas

sobre información tecnológica e inteligencia económica, dentro de los trabajos de sus Planes económicos X y XI (11).

Un ejemplo a seguir son los japoneses (12), que para realizar un nuevo producto o iniciar una investigación, empiezan con la fase de VT y comercial, después se apropian de las tecnologías de las empresas del país, mejoran el producto, crean uno nuevo y lo comercializan a los mercados mundiales. Japón es el país líder en VT, ya que se destaca por destinar muchos fondos a la obtención de información científica y técnica.

Suecia y Finlandia tienen unidades específicas de VT e inteligencia competitiva (IC) y se enfatizan en el desarrollo de sectores como la telefonía digital y la construcción de automóviles (13).

Estados Unidos y Canadá han desarrollado conceptos teóricos y herramientas informáticas de VT e IC. También América Latina hay logros en México, Brasil y Cuba. Por otra parte, Colombia, por medio de Colciencias, a través del programa de Prospectiva Tecnológica e Industrial se introdujo el componente de VT e IC, cuyos objetivos principales son desarrollar sus capacidades nacionales, por medio de la compra de herramientas informáticas, realizar ejercicios de VT y facilitar la creación de unidades de VT e IC en centros de investigación, universidades y sectores (14).

En España, la VT ha tenido una adopción lenta, respecto a otros países de desarrollo similar. Además, la influencia de empresas extranjeras locales no ha sido tan trascendental, puesto que no tienen ubicados en España sus actividades de I+D.

Hoy en día la vigilancia e inteligencia tecnológicas han dejado de ser un patrimonio de las grandes corporaciones industriales y está cada vez más, por costos, facilidad técnica y organizativa, al alcance de un mayor número de empresas de menor tamaño (11).

La VT es una herramienta indispensable para la competitividad en las organizaciones, y debe tenerse en cuenta que, para realizarla, se necesita una metodología a seguir. La aplicación de dicha metodología requiere el establecimiento de un proceso de planeación, seguimiento, medición, análisis y mejora, que se determinen las acciones necesarias para optimizar su desempeño (15). La Vigilancia Tecnológica requiere, para su continuidad, el apoyo y compromiso de la alta dirección de las organizaciones son ellos quienes pueden incorporar los resultados de los ejercicios en las decisiones estratégicas de la organización (12).

CONCLUSIONES

La SGC influye en la gestión del conocimiento y de la I+D, no sólo de manera directa en el desempeño organizativo sino que, también, puede contribuir a que se garanticen los resultados y productos de la investigación y se asegure la trazabilidad de procesos y actividades.

La Vigilancia Tecnológica es una herramienta de apoyo a los procesos organizacionales, que contribuye a mejorar la toma de decisiones en los diferentes ámbitos, pues permite recopilar información actualizada que posibilita su desarrollo. Esta, además, exige enfoques multidisciplinarios y horizontales. Las amenazas y oportunidades que más sorprenden, muchas de ellas de alto impacto para la empresa, suelen provenir de sectores colaterales.

RECOMENDACIONES

Es indispensable la implicación de la dirección de la empresa no sólo para respaldar las medidas, sino para formular orientaciones y participar en la definición de necesidades de información y asignación de funciones con los resultados.

Para el desarrollo de la VIT se requiere de una organización flexible y un funcionamiento en red y debe integrarse en el sistema de calidad de la empresa para lograr su optimización.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Antonio Leal Millán; Adolfo Vázquez Sánchez. Gestión de calidad total y actividades de i+d en empresas españolas. Revista Europea de Dirección y Economía de la Empresa, Vol. 4, No. 2.
2. Amparo González Espartero, Ana González Leitón, José Pablo Hernández Tapia - Unidad Gestión de la Calidad del CIEMAT / CIEMAT Quality Management Unit. Aspectos generales de sistemas de gestión de la calidad aplicables a laboratorios y grupos de I+D+i. Revista Vértices. CIEMAT.Noviembre 2013 • Nº 20
3. Camisón, C.; Boronat, M.; Villar, A.; Puig, A. Sistemas de gestión de la calidad y desempeño: importancia de las prácticas de gestión del conocimiento y de I+D. Revista Europea de Dirección y Economía de la Empresa, vol. 18, núm. 1 (2009), pp. 123-134.ISSN 1019-6838.
4. Proyecto de Investigación CAI+D PE- 260: Resolución Consejo Superior UNL Nº 338/05. Calidad en Investigación: Cómo algunos organismos de normalización se aproximan al tema.
5. Castellanos Domínguez, O.F. Retos y nuevos enfoques en la Gestión de la Tecnología y del Conocimiento. Programa Interdisciplinario de Investigación y Desarrollo en Gestión, Productividad y Competitividad-Biogestion. Universidad Nacional de Colombia.ISBN:978-958-719-053-3. (2008).
6. Martinet y Ribault, B. y J. M. 1989; “La VeilleTechnologique, Concurrentielle et Commerciale: Sources,Methodologie, Organisation”. Les Editiod Organisation; 300pp., Paris.
7. Jorge Félix Valiente Marques. La vigilancia tecnológica: Un reto para el proceso enseñanza aprendizaje. Instituto de Información Científica y Tecnológica (IDICT), Cuba, valiente@idict.cu
8. Carlos Rodríguez Fernández. Sistema de Vigilancia Tecnológica y Agentes Inteligentes. Proyecto Fin de Master en Sistemas Inteligentes. Máster en Investigación en Informática, Facultad de Informática Universidad Complutense de Madrid .Curso 2008 – 2009.
9. Sánchez y Palop. 2002. Herramientas de Software para la práctica de la Inteligencia Competitiva en la empresa. Primera Edición. TrizXXI.Valencia.
10. Palop y otros. 1999. Vigilancia Tecnológica, Documentos Cotec sobre oportunidades tecnológicas.Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Valencia. Madrid: Fundación Cotec para la innovación tecnológica,Valencia.Fuente:http://www.cotec.es/index.php/pagina/publications/searchcollection/show/id/39/page/3 (Consultado el 15-09-2010).
11. Rey Vázquez, Lara. 2006. Ferroatlántica I+D y la vigilancia tecnológica. Revista El profesional de la información.Vol. 15 No. 6. España. Págs. 420-425.Fuente: http://www.elprofesional de la información. Com/contenidos /2006/noviembre/03.pdf (Consultado el 29-08-2010).
12. Palop y Vicente. 1999. Vigilancia Tecnológica e Inteligencia Competitiva. Su potencial para la empresa española. Fundación Cotec para la innovación tecnológica. Fuente: http://www.delfos.co.cu/boletines/bsa/PDF/potencial_vtec.pdf (Consultado el 30-08-2010).
13. EscorsaCastells, Pere. 2001. De la vigilancia tecnológica a la inteligencia competitiva en las empresas. Trabajo presentado en la Conferencia inaugural de los Estudios de Información y Documentación de la UOC del segundo semestre del curso 20012002.EspañaFuente:http://www.uoc.edu/web/esp/art/uoc/escorsa0202/escorsa0202_imp.html. (Consultado el 15-09-2010).
14. Palop Marro, Fernando. 2005. Entrevista a Fernando Palop. Revista Puzzle, Revista Hispana de la Inteligencia Competitiva. Edición No. 15. Barcelona. Págs. 18-20. Fuente: http://www.triz.net/vigilancia.html (Consultado el 02-09-2010).
15. Bibiana Arango Alzate, Lida Tamayo Giraldo, Alejandra Fadul Barbosa. Vigilancia Tecnológica: metodologías y aplicaciones.Revista GPT Gestión de las Personas y Tecnología / Edición N° 13 / Julio de 2012.

Fitomás-E: aliado de los rendimientos en los cultivos agrícolas. Realidades y perspectivas

Lorenzo Montero-San José* y Bárbara Rodríguez-González

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

RESUMEN

El trabajo se ejecutó en el mes de noviembre del 2021, en el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), se realizó una revisión bibliográfica sobre el efecto del bionutriente Fitomás-E, aplicado a diferentes cultivos agrícolas, en diversas condiciones edafoclimáticas, tanto en Cuba como en el extranjero, con el objetivo de ofrecer y promover las bondades de este producto como una alternativa viable para la sostenibilidad de la agricultura, ante las carencias actuales de fertilizantes químicos que presenta el país. Se expusieron las características de las concentraciones en las dos formulaciones del Fitomás-E, que muestran el incremento del rendimiento agrícola de un grupo de cultivos y ratifican la eficacia de las aplicaciones del producto. Se analizaron las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (FODA) del Fitomás-EC para obtener un panorama más amplio del producto, desde las ventajas competitivas hasta las dificultades que pueden afectar.
Palabras clave: fitoestimulante, fertilizante ecológico, nutriente agrícola.

ABSTRACT

The work was carried out in the month of November 2021, at the Cuban Institute of Research of the Derived Sugar Cane (ICIDCA). For which a bibliographic review was carried out that agreed to collect information on the effect of the Bionutrient Fitomás-E, applied to different agricultural crops in various edaphoclimatic conditions, both nationally and internationally, with the objective of offering and promoting the benefits of this product as a viable alternative for the sustainability of agriculture, given the current lack of chemical fertilizers in the country. As a result, the characteristics of the concentrations in its two forms of Fitomás-E formulations are exposed. The increase in the agricultural yield of a group of crops that ratify the efficacy of the product's applications is shown. The strengths, weaknesses, opportunities and threats (SWOT) of Fitomás-EC were analyzed, which allowed obtaining a broader picture of the product, from the competitive advantages to the difficulties that may affect it.
Key words: phytostimulant, ecological fertilizer, agricultural nutrient.

INTRODUCCIÓN

Ante el encarecimiento de los fertilizantes químicos, las escasas reservas naturales de algunos nutrientes, así como los grandes consumos energéticos para la fabricación de los fertilizantes, se impone el uso de alternativas biológicas, no solo como una necesidad en la producción agrícola sino también en la agricultura científica del futuro, sin afectar la ecología y con factibilidad económica (1).

La imperante necesidad de buscar vías que mejoren la eficiencia en la utilización de los fertilizantes minerales y el auge adquirido en la implantación de tecnologías, cada vez más respetuosas

del ecosistema, han dado nueva vida e impulso notable a la idea del uso de los biofertilizantes y los fitoestimulantes, como es el caso del Fitomás-E (2).

Con el uso del Fitomás-E se obtienen ventajas económicas, por concepto de: incrementos de rendimiento y calidad de las cosechas; ahorros en salarios, por disminución de las labores culturales y acortamiento de los ciclos, ahorro por disminución de otros insumos (por ejemplo, agroquímicos y combustibles) y la conservación de la base productiva sin inversiones adicionales (3).

Estar al tanto de las dificultades actuales de la agricultura cubana, con el suministro de fertilizantes para la nutrición de las plantas, por ello es importante recopilar toda la información posible sobre los resultados alcanzados con el Fitomás-E en los cultivos agrícolas; con el objetivo de ofrecer y promover las bondades de este producto como una alternativa viable para la sostenibilidad de la agricultura, ante las carencias actuales de los fertilizantes químicos que presenta el país.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en el mes de noviembre del 2021, en el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA). Se revisaron alrededor de 46 artículos publicados que propiciaron las informaciones necesarias para la realización de esta investigación. Además, se efectuaron entrevistas a directivos y especialistas que participan de forma directa en la obtención del producto importantes para realizar un análisis de las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (FODA) del Fitomás-EC.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los componentes y dosis de aplicación que caracterizan las formulaciones del Fitomás-E, se muestran en la tabla 1, este producto es un hidrolizado de biomasa inactiva, de cultivos mixtos de microorganismos, contiene L-aminoácidos libres, péptidos, B-Glucanos y polisacáridos diversos, el portador de la fuente nitrogenada es la Urea.

Fitomás-EC, es una formulación concentrada del Fitomás-E, que conserva las proporciones entre sus componentes en 1.3 veces sus valores medios y tan solo un cambio en la fuente de nitrógeno de la Urea por el NH_4NO_3. El incremento en la concentración de sus componentes le atribuye la cualidad de ser más atractivo para las necesidades del cliente final, pues se trata de una formulación estable y aportadora de nitrógeno en sus dos formas iónicas asimilables importantes: NH_4^+ y NO_3^-; además, de operar una mayor cantidad de producto con menor contenido de agua.

Tabla 1. Componentes y dosis de aplicación del bionutriente FitoMas-E en sus dos formas de producción

Componentes	FitoMas-E		FitoMas-EC	
	g.L^{-1}	Masa (%)	g.L^{-1}	Masa (%)
Principio activo	150	13.0	210	16.9
N total	55	4.8	87	7.0
K_2O	60	5.2	75	6.0
P_2O_5	31	2.7	41	3.3
Sólidos totales	-	34.0	-	48
Densidad	-	1.15 kg.L^{-1}	-	1.24kg.L^{-1}
PH máximo	-	2.5	-	2.0
Agua	-	63.5	-	52
Dosis de aplicación-Foliar	Caña de azúcar: 4.0 L.ha^{-1} Otros cultivos: 1-3 L.ha^{-1}		Caña de azúcar: 2.0 L.ha^{-1} Otros cultivos: 0.2-2.0 L.ha^{-1}	

Se recomiendan dosis foliares menores del Fitomás-EC que del Fitomás-E, dado que el primero posee mayor concentración de soluto y menos contenido de agua.

Después del análisis de la literatura, se ofrece un resumen, con la información pertinente sobre el efecto del bioestimulante agrícola cubano Fitomás-E; son resultados de investigaciones en instituciones tanto cubanas como extranjeras, que sirven de referencia a agricultores, técnicos, comerciantes y rectores del sector agrícola con un enfoque más completo de las cualidades productivas que brinda este producto.

En la tabla 2 se relaciona un grupo de cultivos en representación de diferentes especies agrícolas, que ha recibido el beneficio de la aplicación del Fitomás-E, en ellos se aprecia un incremento del rendimiento agrícola en un rango entre 3.5 y 35.0 %; además, la formulación es potenciadora de los fertilizantes químicos, con valores considerables que oscilan entre 50 y 75 % de ahorro de la fertilización completa o balanceada (N-P-K). De modo que queda demostrado que el Fitomás-E, además de ser una sustancia estimulante del crecimiento de las plantas les aporta facilidades que permiten la asimilación de los nutrientes.

La influencia del uso del referido bionutriente se muestra en los indicadores morfológicos, con un acelerado crecimiento y desarrollo de las posturas, en cuanto a: buena germinación de las semillas; mayor altura, área foliar, diámetro del cuello y longitud de las raíces; mayor supervivencia y reducción del tiempo de trasplante.

Tabla 2. Resultados obtenidos en diferentes cultivos agrícolas con aplicación de FitoMas-E

Cultivo	Incremento del rendimiento (%)	Fuente bibliográfica
Caña de azúcar		
Caña de Azúcar	15.0-23.0 %	(4, 5)
Hortalizas		
Pepino	3.5-20.0 %	(6)
Tomate	8.33-25.0 %	(7)
Lechuga	14.0-30.9 %	(8)
Granos		
Frijol	10.0-19.0 %	(9)
Garbanzo	20.0 %	(10)
Arroz	20.0-35.0 %	(11)
Maíz	10.0-25.0 % y ahorro del 50 % de NPK	(12)
Raíces y tubérculos		
Boniato	27.6- 34.8 % más el 50 % de NPK	(13)
Yuca	15.45-26.92 % más el 75 % de NPK	
Oleaginosa		
Girasol	8.0 %	(14)
Incremento en Indicadores morfológicos		
Café	Buena germinación de las semillas, y acelera el crecimiento y desarrollo de las posturas y reduce el tiempo de trasplante.	(1)
Cedro	Mayor supervivencia, altura y grosor de las posturas	(15)
Majagua	Mayor altura, diámetro del cuello de la raíz y área foliar de las posturas.	(16)

Existen convicciones sobre el comportamiento de las plantas con el uso del Fitomás-E, que son de interés para los productores, a partir de la experiencia adquirida durante muchos años de estudio, por numerosos autores, en diferentes condiciones naturales, las que se relacionan a continuación.

Relación de algunos aportes del Fitomás-E sobre los cultivos y tecnologías agrícolas

1. Puede ser empleado en todos los cultivos, en cualquier sistema de producción agrícola, ya sea convencional, agroecológico u orgánico.
2. Estimula el crecimiento y desarrollo de los cultivos, reduce la duración del ciclo vegetativo.
3. Es un potenciador de los agroquímicos y puede mezclarse y aplicarse simultáneamente con la mayoría de los productos fitosanitarios y preparados biológicos de uso en la agricultura sostenible.
4. Acelera el proceso de compostaje y la degradación de los residuos de cosechas e incrementa la microflora en las inmediaciones las raíces.
5. Estimula la recuperación de las plantas, a causa de los agentes estresantes.
6. No es fitotóxico ni dañino a la microflora, mesoflora y entomofauna beneficiosa ni a los mamíferos. No contamina las aguas.
7. Su mayor efecto se obtiene con la aplicación foliar, a las dosis entre 0.1 y 4.0 $L.ha^{-1}$, en dependencia del cultivo, puede mezclarse con el agua de riego en dosis de alrededor de 5.0 $L.ha^{-1}$.

Análisis de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (FODA) del Fitomás-EC

El análisis de FODA realizado al bioproducto Fitomás-EC se muestra en la figura 1. Se destacan los resultados del diagnóstico en las características internas (debilidades) y externas (amenazas).

En cuanto a las debilidades se determinó que existe poca expansión global del producto, esta situación indica la importancia de promover, a mayor escala, por todos los medios posibles, sus bondades; asimismo, se aprecia la obsolescencia tecnológica de la fábrica, que atenta contra el crecimiento económico y productivo de esta formulación debido a la alta demanda de este; alta dependencia de recursos e insumos, la necesidad de obtener el producto en estado sólido, de alta demanda por los clientes por las ventajas que proporciona, en cuanto a su comercialización y manipulación, dificultades en la adquisición de envases para las presentaciones de 1 y 5 litros para llegar a un sector como los pequeños agricultores que radican en las ciudades del país, estas debilidades son derivadas de problemas financieros, al no contar con el suficiente presupuesto para llevar a cabo una adecuada gestión económica y financiera.

Por otro lado, se analizaron las amenazas a las que se enfrenta el producto, dentro de las cuales se encuentra la presencia de nuevos productos que se obtienen en diversas instituciones del país y los productos que se comercializan en el extranjero con similares cualidades, ante estas adversidades se deben tener presentes las posibilidades de llevar a cabo una correcta y sistemática planificación de mejora continua de la calidad del producto y replantear un nuevo plan de negocios. Asimismo se infringe el proceso mercantil del producto a consecuencia del aumento de los precios de los insumos y con una situación más férrea el inaceptable embargo económico y financiero impuesto a Cuba por los Estados Unidos de Norteamérica.

Este análisis permite obtener un panorama más amplio del producto que abarca las ventajas competitivas y dificultades en este marco se deben enfocar todas las posibilidades para alcanzar mejores resultados económicos del producto y brindar mayor conocimiento acerca de las características del valor del negocio e implementar cada objetivo estratégico de producción y comercialización.

Figura 1. Análisis de FODA al Fitomás-EC.

CONCLUSIONES

1. El Fitomás-E, incrementa el rendimiento agrícola en diferentes cultivos lo que constituye una alternativa viable para atenuar el déficit actual de fertilizantes en las diferentes formas productivas.
2. El Fitomás-E es un bioestimulante de las plantas reconocida efectividad, de espectro amplio.
3. La ficha técnica del Fitomás-E sobre los cultivos y tecnologías agrícolas constituye un baluarte promocional para agricultores de los diversos escenarios productivos.
4. El análisis de FODA realizado al Fitomás-EC, brinda las posibilidades para alcanzar mejores resultados económicos, mayor conocimiento acerca de las características de negociosy adecuar los objetivos estratégicos de producción y comercialización.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Barroso, L.; M. Abad, P.; Rodríguez, E. y Mompié, J. Aplicación de Fitomás-E y Ecomic® para la reducción del consumo de fertilizante mineral en la producción de posturas de cafeto. Revista Cultivos Tropicales, 2015, vol. 36, no. 4, pp. 158-167.
2. González, J. Efecto de los hongos micorrizogenos arbusculares (hma) y un fitoestimulador sobre los cultivos de la yuca (*manihotesculentacrantz*) y el boniato (*ipomoea batata lam*.) en suelo ferralítico rojo lixiviado. Tesis para optar por el título académico de maestro en ciencias en nutrición de las plantas y biofertilizante. Instituto Nacional de Ciencias Agricolas. 2008.

3. Montano, R.; Villar, J.; García, A.; García, T.; García, A. R.; González, M.; Hernández, I.; Martínez, O.; Pérez, O.; Gallego, E. y Viñals, M. Fitomás-E. Bionutriente Derivado de la Industria Azucarera. Instituto Cubano Investigaciones de Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA). La Habana. 42 diapositivas, color. 2005.
4. Montano, R. Efecto simultaneo del Fitomás-E como potenciador de 2,4 D en control de bejuco (*Ipomoeasp)* y como estimulador de caña de azúcar. Ciudad de La Habana: ICIDCA, p. 8-9. 2004.
5. Zuaznabar, R., G. Pantaleón Paulino, N. Milanés Ramos, I. Gómez Juárez, A. Herrera Solano. Evaluación del bioestimulante del crecimiento y desarrollo de la caña de azúcar Fitomás-E en el estado de Veracruz, México. Revista ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar, 2013. Vol. 47, No. 2, pp. 8 – 12.
6. López Rivera R., G. Agustín Vera Beltrán, Y. Rodríguez Pérez. Evaluación de diferentes dosis de Fitomás E en el cultivo del pepino (*Cucumissativus*) variedad SS-5. Centro Universitario de Guantánamo, Provincia Guantánamo. Cuba. 2002.
7. López Rivera R., R. Montano, A. González Lobaina, A. Gómez Fonseca. Diferente dosis de Fitomás E en el cultivo del Tomate (*Licopersicumsculentus*), variedad Amalia en la provincia Guantánamo, Cuba. 2003.
8. Escalona Cruz L., Y. Carrazana Aliaga, A. Estrada Martínez y A. Aguilar Báez. Evaluación de tres dosis de Fitomás-E sobre un cultivo de lechuga (*Lactuca sativa L*.). Universidad de Granma, Centro Universitario Municipal, Filial Universitaria Municipal Guisa, Granma, Cuba.2012.
9. Ramírez, A. G.; Rosell, R. Evaluación del bioestimulante Fitomás-E en el rendimiento agroproductivo del cultivo del frijol. Revista Granmense de Desarrollo Local. 2017. Vol.1 No.3. RNPS: 2448.
10. Meriño, Y.; T. Boicet, Fabré y A. Boudet Antomarchi. Efectividad del Fitomás-E en el cultivo del garbanzo bajo dos niveles de humedad del suelo. Revista Centro Agrícola. 2018.Vol.45, No.1, 62-68, CE: 15116 CF: cag081182163 Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas ISSN papel: 0253-5785 ISSN on line: 2072-20.
11. Moya Gil M., Ramírez González, F., León Hidalgo, R., y Mujica Caicoy, C. Efecto de biopreparados sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento del arroz (*Oryza Sativa L*) en Aguada de Pasajeros. Revista Científica Agroecosistemas [seriada en línea], 2016. Vol. 4. No. 2, 6-10. En línea: http://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/index.
12. Morejón Pereda M. Optimización de la fertilización en la variedad transgénica FRBt1 de maíz (*Zea mays L*.) con el uso combinados de fertilizantes minerales, estimuladores de crecimiento vegetal y hongos micorrízicos arbusculares. Tesis en opción al título de Master en Ciencias en Nutrición de las plantas y Biofertilizantes. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. MES. Cuba. 2014.
13. Soares Mandriz D. B. Efecto del Fitomás - E sobre el crecimiento y rendimiento del girasol (*Helianthusannuus L*. cv. CIAP JE- 94). Tesis para aspirar al título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas Facultad de Ciencias Agropecuarias Carrera de Agronomía. Santa Clara. Cuba. 2014.
14. Falcón Oconor E., O. Rodríguez Leyva y Y. Rodríguez Matos. Aplicación combinada de Micorriza y Fitomás-E en plantas de *Taliparitielatum*(Sw.) Fryxell (MAJAGUA). Cultivos Tropicales, 2017, vol. 36, no. 4, pp. 35-42. *ISSN impreso: 0258-5936.*
15. Mendoza,G. Evaluación de los biofertilizantes Fitomás - E y micorrizas arbusculares en la plantación del cedro (*Cedrelaodorata L.*) en la UBPC “Colorao”. Trabajo de diploma. Facultad de Ciencia y Técnica. Universidad de Granma. MES. Cuba. 2012.
16. Suárez, D. 2014. Efecto del Fitomás-E sobre el crecimiento y rendimiento del girasol (*Helianthus annus* L.cv. CIAP JE-94). Tesis para aspirar al título de Ingeniero agrónomo.