

ICIDCA

sobre los derivados de la caña de azúcar

Volumen 52 No. 1 enero - abril 2018

ISSN - 0138-6204



Í N D I C E

Influencia de la escaldadura foliar en la calidad de los jugos de cultivares de caña de azúcar (*Saccharum* spp.)

Dolores Piñón-Gómez, Mario Alberto-Casas, Yosel Pérez-Pérez, Carlos W. Rodríguez, María Estrella Legaz, Carlos Vicente

3

Composición química y fenológica de ocho cultivares de caña de azúcar (*Saccharum* sp.) para su recomendación en la alimentación de rumiantes

Oscar J. Suárez-Benítez, Héctor Jorge-Suarez, Irenaldo Delgado-Mora, Enrique Casanova-Cosío, Yuvisleidy Álvarez-González, Xiomara Moreno-Lorenzo, Juan M. González-Rodríguez, Alberto N. González-Marrero

7

Materiales poliméricos para sistemas constructivos

Andrés Gómez-Estévez, Gliseria Velazco-Cabrera, Sandra Fanego-Hernández, Arelys Rodríguez-Padrón, Mercedes Sosa-Hernández

13

Análisis de alternativas para la producción de etanol a partir de jugos de los filtros y jugos secundarios

My-Lai Ibáñez-Fuentes, Gustavo Saura-Laria, Indira Pérez-Bermúdez, Osney Pérez-Ones, Lourdes Zumalacárregui-de-Cárdenas

21

Procedimiento para transformar el aceite de soya usado en ésteres etílicos

Claudia A. Fandiño-Rodríguez, Anabel Sarracent-López, José Gandón-Hernández

30

Empleo de métodos estadísticos para mejorar la exactitud en la determinación de los componentes de la caña de azúcar

Mauricio Ribas-García, Ramón Consuegra-del-Rey, Marlen Alfonso-Alfonso, Susana Ravelo-Bravo

40

Evaluación de tratamientos térmicos en una planta de producción de alimentos

Eduardo Hernández-Ramos, Mayda Moya-Guerra, José A. Suárez-Morales

45

Caracterización físico-química de alcohol etílico fino de una destilería cubana

Arlyn Reyes-Linares, Magdalena Lorenzo-Izquierdo, Dacelis Borroto-Mato, Nancy Herrera-Marrero, Silvia Mato-Pérez

55

Análisis de alternativas para la rehabilitación de la destilería “Héctor Molina”

Daniela Cosme-Díaz, Lourdes Zumalacárregui-de-Cárdenas, Osney Pérez-Ones, Indira Pérez-Bermúdez

58

Determinación cuantitativa de la concentración del NO₂ disuelto en agua en la síntesis del 2-(2-nitrovinil-furano)

Claudia Lago-Durán, María Isabel Díaz-Molina, Zenaida Rodríguez-Negrín, Irenia Gallardo-Aguilar, Amalia Calvo-Alonso

65

Estudio de pérdidas permisibles en una destilería cubana

Keyla Tortoló-Cabañas; Carlos Alberto Garit-Campos; Roberto Estévez-Baéz; Gustavo Saura-Laria; Julio Antonio Martínez-Valdivieso-Piloto; Indira Pérez- Bermúdez

70

Influence of leaf scald in juice quality of sugarcane (*Saccharum* spp.) cultivars

3

Dolores Piñón-Gómez, Mario Alberto-Casas, Yosel Pérez-Pérez,
Carlos W. Rodríguez, María Estrella Legaz, Carlos Vicente

Phenological and chemical composition of eight sugarcane cultivars (*Saccharum* sp.) in order to be used in ruminant feeding

7

Oscar J. Suárez-Benítez, Héctor Jorge-Suarez, Irenaldo Delgado-Mora,
Enrique Casanova-Cosío, Yuvisleidy Álvarez-González, Xiomara Moreno-Lorenzo,
Juan M. González-Rodríguez, Alberto N. González-Marrero

Polymeric materials for construction systems

13

Andrés Gómez-Estévez, Gliseria Velazco-Cabrera, Sandra Fanego-Hernández,
Arelys Rodríguez-Padrón, Mercedes Sosa-Hernández

Analysis of alternatives for ethanol production from filter and secondary juices in a sugarcane mill

21

My-Lai Ibáñez-Fuentes, Gustavo Saura-Laria, Indira Pérez-Bermúdez,
Osney Pérez-Ones, Lourdes Zumalacárregui-de-Cárdenas

Procedurement for conversion from used soy oil on biodiesel

30

Claudia A. Fandiño-Rodríguez, Anabel Sarracent-López, José Gandón-Hernández

Employment of statistical methods to improve accuracy in the determination of the sugarcane components

40

Mauricio Ribas-García, Ramón Consuegra-del-Rey, Marlen Alfonso-Alfonso,
Susana Ravelo-Bravo

Evaluation of thermal treatments in the food production plant

45

Eduardo Hernández-Ramos, Mayda Moya-Guerra, José A. Suárez-Morales

Physical-chemical characterization of fine ethyl alcohol of a Cuban distilling

55

Arlyn Reyes-Linares, Magdalena Lorenzo-Izquierdo, Dacelis Borroto-Mato,
Nancy Herrera-Marrero, Silvia Mato-Pérez

Analysis of alternatives for “Héctor Molina” distillery rehabilitation

58

Daniela Cosme-Díaz, Lourdes Zumalacárregui-de-Cárdenas, Osney Pérez-Ones,
Indira Pérez-Bermúdez

Determination of the concentration of nitrous oxides dissolved in water by the potentiometric method in the synthesis of 2-(2-nitrovinyl furan)

65

Claudia Lago-Durán, María Isabel Díaz-Molina, Zenaida Rodríguez-Negrín,
Irenia Gallardo-Aguilar, Amalia Calvo-Alonso

Study of permissible losses in a Cuban distillery

70

Keyla Tortoló-Cabañas; Carlos Alberto Garit-Campos; Roberto Estévez-Baéz;
Gustavo Saura-Laria; Julio Antonio Martínez-Valdivieso-Piloto;
Indira Pérez- Bermúdez

Influence of leaf scald in juice quality of sugarcane (*Saccharum spp.*) cultivars

Dolores Piñón-Gómez^{1*}, Mario Alberto-Casas¹ Yosel Pérez-Pérez¹, Carlos W. Rodríguez², María Estrella Legaz³, Carlos Vicente³

1. Plant Protection Department, National Sugar Cane Research Institute, km 1½ CUJAE Rd., 19390 Rancho Boyeros, Havana, Cuba.

* dolores.pinon@inica.azcuba.cu

2. Department Microbiology, Faculty of Biology, Havana University 25 y J, Vedado, Havana, Cuba.

3. Plant Biology Department, Faculty of Biology, Madrid Complutense University, 28040 Madrid, Spain.

ABSTRACT

Leaf scald is a sugarcane systemic disease having the Gram negative bacterium *Xanthomonas albilineans* as causal agent and becoming nowadays a first degree disease according to reports of damages and yield losses caused to the crops worldwide. The plant may or may not develop the typical disease symptoms depending the resistant cultivar or the variant bacterium. In this work juice quality indicators (Brix grade, Pol %, reducing sugars, starch, purity, invertase activity, sucrose level and xanthan content) were measured in non inoculated and *X. albilineans* inoculated treatments in whole juice samples of cultivars My5514 and C88-382, reported as resistant and susceptible to leaf scald respectively. Results lead to confirm alterations caused by the infection in the juice quality being in general of less magnitude in the resistant cultivar as should be expected with the consequent implications in the industrial production of sucrose and other derivatives.

Key words: sugarcane, juice quality, leaf scald, *Xanthomonas albilineans*.

RESUMEN

La escaldadura foliar es una enfermedad sistémica producida por la bacteria Gram negativa *Xanthomonas albilineans* que ha causado graves pérdidas económicas en Cuba y otros mundo. La planta puede o no desarrollar los síntomas típicos de la enfermedad en dependencia del grado de resistencia del cultivar y de la variante patogénica de la bacteria. En este trabajo fueron evaluados indicadores de la calidad del jugo (grado Brix, Pol %, azúcares reductores, almidón, pureza, actividad invertasa, sacarosa y contenido de polisacárido semejante a xantano) en plantas inoculadas y no inoculadas con Xa en los cultivares My 5514 y C88-382 reportadas como resistente y susceptible respectivamente a la enfermedad. Los resultados demostraron las alteraciones producidas en la calidad de los jugos, los que fueron menores en el cultivar resistente y se demostró las implicaciones que las infecciones de Xa pueden tener en la producción de sacarosa y otros derivados.

Palabras clave: caña de azúcar, calidad de los jugos, escaldadura foliar, *Xanthomonas albilineans*.

INTRODUCTION

Studies regarding sugar cane juice quality have been performed in different directions and using different kind of parameters and indicators that taken together reflects the carbohydrate metabolism in the plant and therefore the quality of juices to be used in the industrial production of sucrose, alcohol and other derivatives.

The physiological mechanisms by which plants respond to the attack of pathogens are extremely

complex and of different nature, whether structural, chemical, preformed or induced (1). In the case of leaf scald, an systemic disease of sugar cane caused by *Xanthomonas albilineans* (Ashby) Dowson is known that produce decrease in its yield (2, 3).

The aim of this work was to study the influence of these disease on sugarcane juice quality indicators on two cultivars with different behaviour toward the pathogen, resistant and susceptible respectively.

MATERIALS AND METHODS

Sugarcane cultivars My5514 resistant (R) and C88-382 susceptible (S) to leaf scald respectively, grown under field conditions on a Cambisol soil in Tayabito, Camagüey province, Cuba, harvested at 10 months of age. Inoculation treatments carried out with a pool of *Xanthomonas albilineans* (Ashby) Dowson bacterium provided by the Diagnosis Laboratory of the Sugarcane Provincial Experimental Station of Jovellanos, Matanzas, Cuba, at 3 months of age according to methods described for national tests of resistance to leaf scald (4). The experiment was planted with a fortuitous parcels design with two replicates including the non- inoculated control. The juices first extracted centrifuged at 20000 x g and filtered through Whatman paper # 1. Samples of 25 ml were conserved frozen for further analysis of juice quality indicators: Brix grade, using an Abbe refractometer; reducing sugars (5), Pol %; purity (Pol%/corrected Brix100); starch (6) and acid and neutral invertase activity (5). Also in correspondence with reports of *X. albilineans* producing xanthan like polysaccharides (7) the xanthan content of juices was investigated (8). In addition, pol % was determined in 20 fractions obtained from the previous samples of whole juices filtered through nitrocellulose membrane 0.22 µm and chromatographed through G-10 and G-50 gels and lectures at constant flux obtained using a Laserpol He/Ne 101-M.

Three repetitions were realized for each variable; bifactorial analysis variance (cultivars and treatments) and Tukey test (p< 0,05) were applied for statistical evaluations.

RESULTS AND DISCUSSION

Non-fractionated juices analysis

Conventional juice quality indicators measures (9) from non fractionated sugar cane juices are showed in Table 1. In inoculated and non inoculated treatments Brix grade levels were lower in infected plants being the decrease higher in the resistant cultivar. Reducing sugars behaved differently showing a decrease in the resistant cultivar and no variation in the susceptible one. Pol % behaved differently in the infected treatments, decreasing in My5514 but increasing in C88-382. Purity also showed different behaviour in the inoculated treatments, My5514 with a decrease and C88-382 having an increase.

Starch content shows decrease in inoculated My5514 and no significant difference in inoculated C88-382 in comparison with respective non inoculated controls. As for acid invertase activity an increase is shown in each cultivar being extremely high in the susceptible one. Neutral invertase showed no activity in both cultivars. Considering that My5514 and C88-382, apart from presenting different behaviour against *Xanthomonas albilineans*, also differ in ripeness time and sucrose content, it can be seen that changes of different magnitudes take place. Opposite change trends operates after inoculation for both cultivars, in the case of Pol %, purity, reducing sugars and starch, otherwise, change trends, however, were similar for Brix grade and acid invertase activity. In the case of pol %, C88-382 presents superior levels in infected plants which could mask the occurrence of metabolic problems by showing juices that apparently would be of better quality in the inoculated treatment, as can be observed when comparing the purity levels. Nevertheless, is important to note that acid invertase activity is superior in the inoculated

treatments of both cultivars as a consequence of infection, showing an extremely high increase in the susceptible cultivar in spite that reducing sugars show no changes with the non-inoculated treatment.

Fractionated juices analysis

Regarding that non-fractionated juice analysis throughout pol % measures do not permit to analyze what is really taking place in the metabolism of compounds with optical activity that accumulate in

Table 1. Sugarcane juice quality parameters in the treatments studied

Non fractionated juice	My5514 (R)				C88-382 (S)				DS.x
	Non inoculated		Inoculated		Non inoculated		Inoculated		
Brix grade (g/100ml)	16,5	a1	11,5	d1	15,5	b1	14,5	c1	0,7
Reducing sugars (g/100ml)	2,0	a2	0,8	b2	1,5	ab2	1,5	ab2	0,2
Pol %	12,6	a3	8,0	c3	10,6	bc3	11,2	b3	1,1
Purity %	76,4	b4	69,9	d4	68,8	c4	77,8	a4	0,9
Starch (g/100 ml)	0,005	c5	0,008	b5	0,036	a5	0,038	a5	0,002
Acid invertase µg/ml/h	166	d6	560	b6	448	c6	2912	a6	106

Values with similar letters were considered not different for p< 0.05.

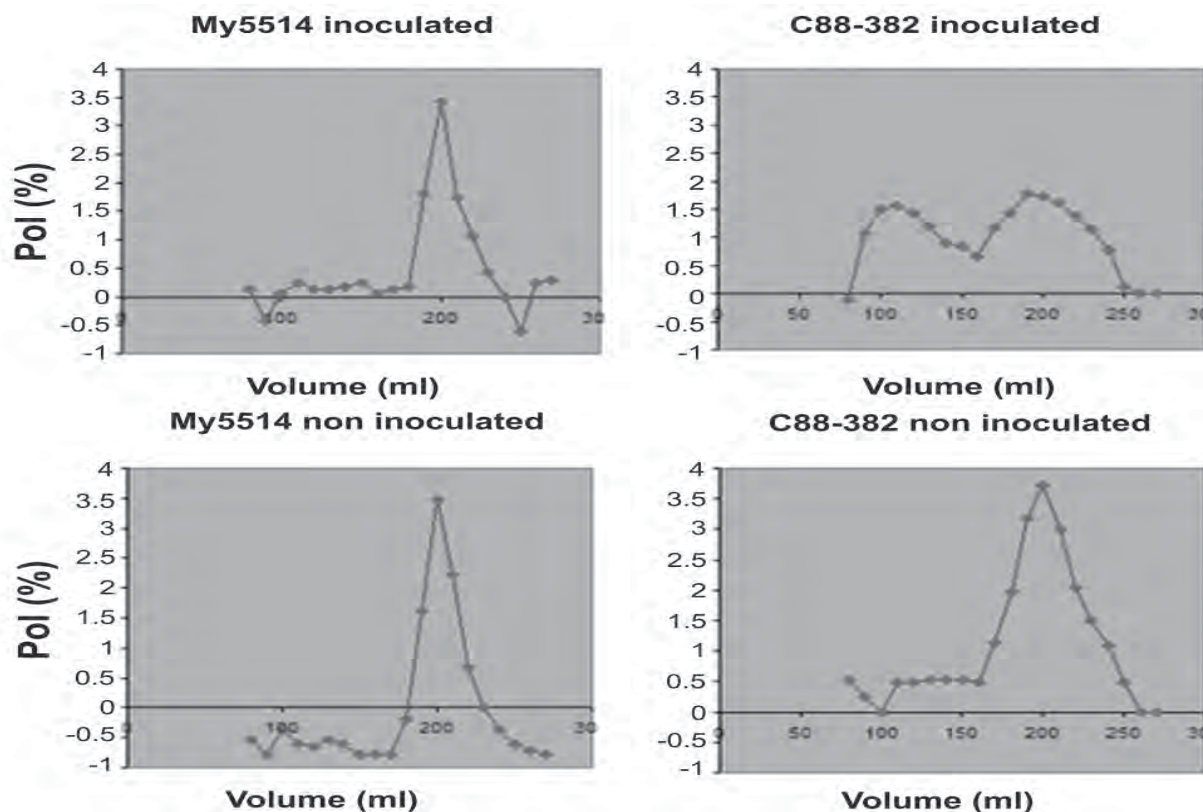


Figure 1. Chromatograms of Pol % in juice fractions of two sugar cane cultivars eluted from Sephadex G-10 and G-50.

the juice, an analysis of fractions of the juice was performed chromatographically throughout Sephadex G-10 and Sephadex G-50, allowing to study what takes place in fractions of high molecular mass (HMM), medium molecular mass (MMM) and low molecular mass (LMM).

HMM and MMM fractions are shown in Figure 1 ranging from 80 to 180 ml of eluates, the peak eluted at 200 ml corresponding to sucrose (standard run chromatograph not shown). Pol % measures of non-inoculated My5514 cultivar show that in HMM and MMM fractions a majority of levorotatory substances were present, considering that the total lecture in those fractions were always negative. However, in the inoculated treatment the values of optical activity turn positive from 100 ml on, suggesting that dextrorotatory compounds must have increased concentration. In this cultivar the low molecular mass fraction (LMM) is obviously dominated by the presence of sucrose and in both treatments similar dextrorotatory optical activity is obtained pointing to a minor alteration in the sucrose content of juices.

In contrast, cultivar C88-382 shows a totally different behaviour for the optical activity of inoculated and non-inoculated treatments. In both cases HMM and MMM fractions show dextrorotatory

optical activity highly superior in infected juices. In the fraction corresponding to LMM, although with dextrorotatory lectures dominated by sucrose, the behaviour is quite different from My5514 and obviously related to the high acid invertase activity detected in these juices.

The previous analysis lead to think that susceptible cultivar C88-382 present a great degradation of sucrose evidenced by lower levels of optical activity and higher levels of acid invertase activity, and since *X. albilineans* possess an invertase system that degrade sugars and uses them for xanthan synthesis (7)(Solás *et al.*, 2002) these sugars could be used for the synthesis of substances of high molecular mass that present a dextrorotatory optical activity, and so far, the phenomenon detected can be a direct consequence of the infection with this bacterial microorganism.

When studying the substances isolated and quantified from the HMM and MMM fractions using the method developed to extract xanthan, levels of the latter are detected in all juices (Table 2) being superior in the infected treatments of both cultivars but the higher levels corresponding to the susceptible one.

Nevertheless, when the fractionation of the juices is achieved and its polarimetric analysis carried out, it is detected that the HMM and MMM fractions in

Table 2. Xanthan like polysaccharides content in the juice of cultivars analyzed

Treatments	Xanthan-like polysaccharide content (µg/ml)	
	My5514 (R)	C88-382 (S)
Non- inoculated	38,44 d	70,42 b
Inoculated	52,26 c	87,54 a

Values with similar letters were considered not different for $p < 0,05$ SDx: 5,61.

the resistant cultivar are levorotatory being dextro-rotatory in the susceptible one, which lead to think that independently that xanthan accumulates in both cases, there are productions of other polysaccharides and glycoproteins affecting the molecular masses and optical activity that remain masked when the analysis is made in non fractionated juices.

This lead to a new direction of work to demonstrate the occurrence and identity of other substances related with the sugar cane- *Xanthomonas albilineans* interactions, which besides of xanthans accumulate in the juices.

CONCLUSIONS

According to data obtained from the experiments carried out, sugarcane cultivars My5514 and C88-382 infected with *Xanthomonas albilineans* undergo changes of different trends and magnitudes in the conventional juice quality indicators analysed and in the xanthan-like polysaccharide content as well, thus reflecting affectations on its quality.

Qualitative analysis of sugar content by pol % measures show no alteration in My5514 when infected with the bacterium in comparison with its witness. C88-382, on the contrary, shows evident alteration in the sucrose content evidenced in the deformed sucrose peak of the inoculated treatment.

Xanthan-like polysaccharide production, accepted as an alteration caused by *Xanthomonas albilineans* infection, appear to be present in the juices, its content higher in the inoculated treatments, but higher in magnitude in C88-382.

In general it can be concluded that, as should be expected, the alterations observed in the quality of juices reach lesser levels in the resistant cultivar studied, My5514, in comparison with the more affected cultivar C88-382, reported as susceptible to leaf scald.

REFERENCES

1. Soyulu, S. (2008). Mechanisms of disease resistance in plants against phytopathogens. In Biochemical responses of plants to invaders pp. 33-48 Research Signpost. ISSN 978-81-308-0306-7.
2. Sandhu, H. S., Rott, P., Comstock, J. C and Gilbert, R. A. (2013). Sugarcane Leaf Scald Disease. Disponible en: <http://edis.ifos.ufl.edu> Consultado 27/04/2018).
3. Pérez, Y. Perez J., La O., M., González. R. y Pellón, Y. (2017). *Xanthomonas albilineans* (Ashby) Dowson: Susceptibilidad de los cultivares e impacto en el rendimiento azucarero. Revista Centro Agrícola 4,1:23-27.
4. Jorge, S. H., Bernal, N., Jorge, I., Mesa, J., González, F., González, A. y Cabrera, L. (2011). Selección. En Normas y procedimientos del mejoramiento genético de la caña de azúcar en Cuba. Jorge, H y Jorge I. Eds. Rev. Cuba & Caña Edición Especial. pp. 187-190.
5. Summers, J.B. (1921). Dinitrosalicylic acid a reagent of the estimation of sugar in normal and diabetic urine. J. Bio. Chem.47:5-9.
6. Chavan,J.,K.,Ghonsikar,C.P.,Kadam,S.,S.and Salunkhe,D.,K. (2007). Protein, tannin and starch changes in developing seeds and low and high tannin cultivars of sorghum. Journal Food Biochem.3,1,13-20.
7. Solás, M.T., Piñón, D., Acevedo, R., Fontaniella, B., Legaz, M.E. and Vicente, C. (2003). Ultraestructural changes and production of xanthan-like polysaccharide associated with scald of sugar cane leaves caused by *Xanthomonas albilineans*. European Journal of Plant Pathology 109: 351-359.
8. Galindo, E. and Albiter, V. (1996). High-yield recovery of xanthan by precipitation with isopropyl alcohol in a stirred tank. Biotechnology Progress 12:540-547.
9. Pérez, J.L., Reyes, C., Jorge, H. y Díaz, F., R. (2000). Evaluación de variedades de caña de azúcar atendiendo a la calidad de sus jugos. Centro Azúcar 3:21-25.

Composición química y fenológica de ocho cultivares de caña de azúcar (*Saccharum sp.*) para su recomendación en la alimentación de rumiantes

Oscar J. Suárez-Benítez^{1*}, Héctor Jorge-Suarez¹, Irenaldo Delgado-Mora¹, Enrique Casanova-Cosío², Yuvisleidy Álvarez-González², Xiomara Moreno-Lorenzo², Juan M. González-Rodríguez¹, Alberto N. González-Marrero¹

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

Carretera CAI Martínez Prieto km 2½, Boyeros. La Habana, Cuba.

*osuares@gesacf.ezcuba.cu

2. Universidad de Cienfuegos, Carlos Rafael Rodríguez (UCf).

Carretera Rodas. km 2½, Cuatro Caminos. CP 55100. Cienfuegos, Cuba.

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar la composición química y fenológica de ocho cultivares de caña de azúcar, se realizó un experimento en áreas del banco de semilla básica ubicado en el batey Espartaco en la provincia de Cienfuegos sobre un suelo Pardo sin carbonato (Cambisol eutricto). Se utilizó el diseño experimental de bloques al azar, donde cada cultivar ocupó un área de 64 m², en la cepa caña planta, con edades entre 12 y 14 meses. Se tomaron tres muestras de cada cultivar y se calcularon los valores de las variables fenológicas: peso fresco del tallo, cogollo y hojas secas (%). Para el estudio de la composición química se estudiaron las variables digestibilidad de la materia seca, contenido de fibra ácida detergente, lignina, proteína bruta y cenizas. Con el conjunto de variables, se realizaron análisis de varianza y siempre que hubo diferencias significativas se empleó la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey. Se emplearon análisis de conglomerados con las variables: digestibilidad de la materia seca, fibra ácida detergente, lignina, materia seca y cenizas. Se formaron tres grupos; el 1 y 2 conformados por los cultivares Co997, C86-12, C89-176, C323-68 y B80250, considerados de alta digestibilidad y el tercero integrado por los cultivares C90-316, C86-251, C89-372, considerados de baja digestibilidad. Los grupos 1 y 2 presentaron diferencias significativas con el grupo 3, en las variables del estudio, con la sola excepción de la materia seca.

Palabras clave: digestibilidad, fibra ácida, detergente, lignina, caña de azúcar.

ABSTRACT

With the objective of evaluating the eight sugarcane cultivars phenological and chemical composition, an experiment was carried out in the basic seed bank areas located in the Espartaco town in Cienfuegos province on a Brown soil without carbonate (Cambisol eutric). An experimental design of random blocks was used, where each cultivar occupied an area of 64 m², in the cane plant strain, with ages between 12 and 14 months of age, three samples were taken at random from each cultivar. The values of the phenological variable as gross weight of stalk, leaves and apical were calculated; the dry matter digestibility, acid detergent fiber content, lignin, crude protein and ashes (%), were taken in to a count for the study of the chemical composition. With the phenological and chemical variables, came true analysis of variance and provided that there were significant differences it used the proof of multiple comparison of stockings of Tukey. The analysis of conglomerates with the variables, dry matter digestibility, acid detergent fiber, dry matter ashes and lignin was made; it formed three groups, Co997, C86-12, C89-176, C323-68 y B80250 were considered high digestibility and C90-316, C86-251, C89-372 low digestibility as a result final, there are significant differences between cultivars and the ones with the highest digestibility percentage for ruminant feed are recommended.

Key words: digestibility, acid fiber, detergent, lignin, sugarcane.

INTRODUCCIÓN

La ganadería cubana ha estado en los últimos años en constante transformación. Las estructuras productivas han sido modificadas y como resultado ha surgido una gran cantidad de variantes organizativas para la producción de leche y carne. También en el plano alimentario se han propuesto el fomento del bloque forrajero en cada unidad productiva que incluyen bancos de proteína. Entre las más utilizadas están la moringa (*Moringa oleífera* Lam), moreira (*Morus* spp.), titonia (*Tithonia diversifolia* Hemsl. Gray), leucaena, (*Leucaena leucocephala*), así como la inclusión de gramíneas como el *kinggrass* y la caña de azúcar (*Saccharum* sp.), con el objetivo de satisfacer las necesidades de materia seca del rebaño y el balance de nutriente, que permita niveles aceptables de producción de carne, leche y un comportamiento reproductivo eficiente.

La caña de azúcar en este bloque forrajero ofrece grandes posibilidades para ser utilizada en la alimentación del rumiante, la coincidencia de su cosecha con el período menos lluvioso, la propiedad de superar a todas las plantas forrajeras conocidas en producción de materia seca y energía metabolizable por hectárea, su gran adaptabilidad a distintas condiciones edafoclimáticas, son entre otras sus principales bondades (1, 2).

En la actualidad se afirma que no todos los cultivares de caña de azúcar son recomendados para la alimentación de los rumiantes. Los cultivares industriales de caña de azúcar que actualmente se utilizan en el mundo, se han obtenido y desarrollado en función de los intereses y necesidades de la industria azucarera (1, 3).

El estudio de cultivares para la alimentación del ganado vacuno se inició en la década de los 90 cuando fueron recomendadas por Milanés *et al.* (4), Molina y Valdez (5), Suárez (6), cultivares para estos fines, pero solo tenían como criterio para la recomendación la digestibilidad de la materia seca,

excluyendo el estudio de la composición química y fenológica del cultivar.

El objetivo del presente trabajo es estudiar la composición química y fenológica de ocho cultivares de caña de azúcar para su recomendación en la alimentación de rumiantes.

MATERIALES y MÉTODOS

Localidad experimental

La investigación se desarrolló en el banco de semilla básica en la provincia de Cienfuegos en un suelo Pardo sin carbonato (Cambisol eutricto), según Hernández *et al.* (7).

Diseño experimental de la investigación.

Fueron evaluados ocho cultivares comerciales (tabla 1), utilizando un diseño experimental de bloques al azar, con un modelo de clasificación simple. Cada cultivar ocupó un área de 64 m² (4 surcos de 1,6 de ancho de 10 m de largo), en la cepa caña planta, con edades entre 12 y 14 meses de edad.

Para el muestreo y caracterización de la composición fenológica de los ocho cultivares de caña de azúcar (peso tallo fresco %, peso cogollo fresco %, peso hojas secas %), se empleó la metodología de Molina y Tuero (8).

Las variables digestibilidad de la materia seca, fibra ácida detergente y lignina, se determinaron por la técnica *in vitro* de KOH en el laboratorio del Instituto de Ciencia Animal (ICA), por el método de Kesting (9). La proteína bruta se determinó por la metodología empleada por Herrera *et al.* (10) y para el análisis de las cenizas, se emplearon las técnicas propuestas por Pérez (11).

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza con las variables que conforman la composición fenológica y la composición química de los ocho cultivares en estudio, siempre que hubo diferencias significativas se empleó la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey para una probabilidad de error del 5 %, (P ≤ 0,05).

Los datos de las variables estudiadas fueron transformados por la raíz cuadrada del arco seno de (x) dividido entre 100, con el propósito de que los valores de las variables en estudio tuvieran una distribución normal.

Se empleó un análisis de conglomerados para

Tabla 1. Cultivares de caña de azúcar (*Saccharum* sp.), estudiados y sus progenitores

No.	Cultivar	Progenitor femenino	Progenitor masculino
1	C86-251	CP29-103	Co421
2	C89-176	NCo310	C187-68
3	C89-372	NCo310	C187-68
4	Co997	Co683	P6332
5	C86-12	Desconocidos	Desconocidos
6	B80250	Desconocidos	Desconocidos
7	C90-316	C187-68	B6368
8	C323-68	B4362	C87-51

conocer los agrupamientos de los genotipos en estudio, las variables utilizadas fueron: digestibilidad de la materia seca, fibra ácida detergente, contenido de lignina, cenizas y materia seca. Se realizó un análisis de varianza entre los grupos con el objetivo de ratificar o no la diferencia entre ellos. Para realizar los análisis fue empleado el paquete estadístico Info Stat (12), para Windows.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al evaluar el peso fresco del tallo, los cultivares de mejor comportamiento fueron C86-12, B80250 y C323-68, superando al resto de los estudiados. Los genotipos C90-316, C89-372 tuvieron un comportamiento intermedio, superando a Co997 y C86-251, que mostraron los valores más bajos para esta variable.

Chávez (13), al estudiar la composición fenológica de la caña de azúcar informó valores para el porcentaje de tallo fresco de 71,80 %, señalando que esta variable depende del cultivar, edad, ciclo vegetativo, localidad, manejo tecnológico, entre otras. Al respecto Suárez (6), planteó que dentro del es-

quema de selección de cultivares de caña de azúcar para la agroindustria azucarera, el tallo revierte gran importancia porque es el sitio donde se concentra la sacarosa. Para los ganaderos también resulta importante esta fracción botánica, porque además de contener carbohidratos de fácil fermentación en el rumen, contiene carbohidratos estructurales, que constituyen fuente de energía para la alimentación del rumiante.

Los carbohidratos contenidos en el tallo maduro de la caña de azúcar en forma de azúcares fermentables, pueden sustituir en su totalidad la energía que aporta aproximadamente el 65 % de los cereales, que se utilizan para la fabricación de pienso propio de la especie porcina (14, 15). En Cuba se diseñaron diferentes tecnologías con el uso del tallo de la caña de azúcar, donde a partir de transformaciones físico químicas, se puede obtener un producto más completo que la materia prima que le dio origen, podemos referirnos concretamente a la saccharina, saccharea y a las harinas, a partir del tallo de la caña de azúcar.

Rosales (15), notificó que novillos alimentados con tallo fresco de caña de azúcar, obtenían ganancias de 605 gramos diarios de peso vivo, con valores de consumo de 4,58 kg de materia seca.

Al evaluar la variable porcentaje del peso del cogollo, el cultivar Co997 muestra el valor más alto, superando a C86-251, C89-372, C90-316, C86-251 y C89-372, que exponen los valores intermedios, mientras que C86-12 y B80250, presentan los porcentajes más bajos.

Chávez (13) y Rosales (15), informaron que el cogollo de la caña de azúcar representó una de las secciones con mejores resultados y ganancias en el peso vivo de novillos en desarrollo, con dietas basadas en caña de azúcar, ya que en un principio estas representan el 20-30 % de la planta entera, que tienen un efecto positivo como fibras largas de alta calidad en el consumo voluntario y el comportamiento animal sobre todo cuando estas son verdes y frescas. Estos autores indicaron ganancias de peso vivo diario de 839 gramos en novillos alimentados con cogollos, con consumos de 7,5 kg de materia seca.

El porcentaje de peso de las hojas secas adheridas al tallo, también mostraron diferencias significativas entre los cultivares en estudio. Los genotipos C86-251, Co997 y B80250 muestran los valores más altos, mientras que los más bajos fueron para C323-68, C90-316 y C89-372. Esta fracción de la caña de azúcar es la menos importantes en el aporte de nutrientes, es el material más lignificado con valores de digestibilidad muy bajos y están en dependencia de la cualidad de auto despaje, que muestran los cultivares de caña de azúcar.

Al estudiar de conjunto las tres variables (porcentaje del peso del tallo, porcentaje del peso del cogo-

Tabla 2. Análisis de varianza para la composición fenológica de ocho cultivares de caña de azúcar

Cultivares	Peso del tallo (%)	Peso del cogollo (%)	Pesos de hojas secas (%)
C86-251	64,44 (0,93)C	20,14 (1,17)BC	12,72 (1,20)A
C89-176	71,37 (0,80)A	14,10 (1,19)CD	7,95 (1,22)B
C89-372	72,11 (0,88)B	20,09 (1,17)BC	6,34 (1,23)C
Co997	73,31 (0,94)C	26,62 (1,14)A	11,20 (1,21)A
C86-12	78,63 (0,80)A	10,62 (1,21)D	9,33 (1,21)A
B80250	79,60 (0,81)A	11,07 (1,21)D	10,20 (1,21)A
C90-316	79,72 (0,86)B	21,54 (1,16)B	6,61 (1,22)B
C323-68	80,21 (0,81)A	18,49 (1,18)C	6,00 (1,23)C
CV (%)	1,94	0,73	0,44
ES±	0,303	0,158	0,313

Letras diferentes en una misma columna difieren significativamente, según la prueba de Tukey, para $p \leq 0.05$. () Valores transformados.

llo y porcentaje de hojas secas adheridas al tallo), se puede afirmar que los altos valores de la variable porcentaje de tallo responde al grado de madurez del material en estudio (12 a 14 meses de edad), momento en el cual el cogollo mantiene un mínimo de hojas activas y a la cualidad de auto despaje, en los cultivares cubanos que se manifiesta con mayor intensidad.

Este incremento de la fracción tallo aumenta la digestibilidad de la caña de azúcar en el momento que más lo necesita el rebaño, en los meses de menor disponibilidad de biomasa para cubrir sus requerimientos nutricionales. Los resultados alcanzados coinciden con los presentados por López *et al.* (16), al evaluar los componentes fenológicos de este cultivo.

La tabla 3 informa que hubo diferencias significativas para las variables materia seca, digestibilidad de la materia seca, fibra ácida detergente, lignina y cenizas, no así para la proteína bruta, lo que reafirma que la caña de azúcar es un alimento energético por excelencia, al no mostrar diferencias significativas entre los genotipos en estudio. Resultados similares fueron señalados por López *et al.* (16) y Suárez (6).

Análisis de conglomerados

El dendrograma del análisis de conglomerados (figura 1), con una parada del agrupamiento por el umbral 2,25 de la distancia Euclidiana, permitió visualizar la formación de tres grupos a partir de las variables que se incluyeron en el análisis (digestibilidad de la materia seca, fibra ácida detergente, contenido de lignina, cenizas y materia seca). El primer y segundo grupo, conformados por cinco cultivares con valores superiores de digestibilidades de la materia seca respecto al tercer grupo.

Molina y Tuero (8), recomendaron cultivares de caña de azúcar con valores de digestibilidad superior al 50 %, estos autores además relataron que cuando existen diferencias de un 15 % de digestibilidad entre dos cultivares, la de mayor valor incorpora entre un 25 % y un 40 % más de nutrimentos, reflejándose en esa magnitud incrementos de carne y leche.

Los grupos que se formaron como resultado del

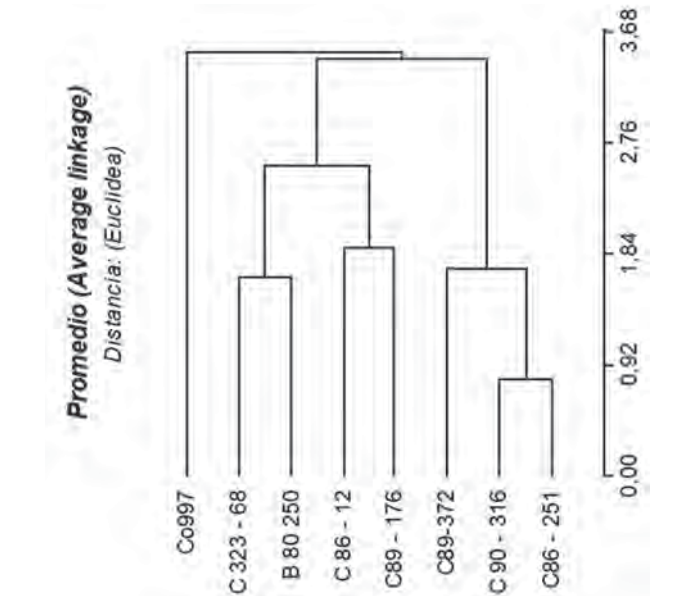


Figura 1. Dendrograma del análisis de conglomerados.

análisis de conglomerados (tabla 4), mostraron diferencias significativas en las variables en estudio, con la excepción de la variable materia seca (MS).

Varios autores (6, 8, 17-21), han reseñado valores de materia seca de la caña de azúcar madura, entre 30 y 32 %. Guerra (22), señaló que el contenido de materia seca de la caña de azúcar madura es de aproximadamente 30 % y que cuando alcanza la madurez conserva su valor nutritivo en el tiempo siempre que no sea afectada por heladas, lo que se explica el aumento de azúcares fácilmente fermentables, que compensan la disminución de la digestibilidad producida por la mayor lignificación. El incremento de azúcares puede incluso aumentar la digestibilidad total de la planta madura (los azúcares se reducen y se convierten en sacarosa, disminuyéndose los azúcares reductores).

La digestibilidad de la materia seca (DMS), mostró similitud entre el grupo 1 y 2 (valores más altos), no así con el grupo 3, el cual fue superado por los dos

Tabla 3. Análisis del contenido de materia seca y su composición química de ocho cultivares de caña de azúcar (*Saccharum* sp.)

F.V	G.L	Cuadrados medios					
		MS	DMS	FAD	Lignina	PB	Cenizas
Cultivares	7	(1,70E-05)*	(1,70E-03)*	(3,40E-03)*	(4,70E-05)*	(2,60E-6)ns	(5,30E-06)*
Error	16	(1,00E-06)	(6,90E-05)	(7,20E-05)	(7,20E-06)	(3,40E-07)	(1,80E-06)
Medias		0,28	0,82	0,77	0,22	0,05	0,11
Valores medios ¹ ±ES		31,60 ± 0,205	51,64 ±0,164	32,59 ±0,158	5,87 ±0,151	2,56 ±0,374	4,87 ±0,374

* Resultados significativos para la prueba de Tukey; p≤0.05. () Valores transformados. ¹Valores no transformados.MS: Materia seca; DMS: Digestibilidad de la materia seca; FAD: Fibra ácida detergente; PB: Proteína bruta.

Tabla 4. Agrupamiento de cultivares por los valores promedios de las variables en estudio

Grupo	Cultivar	Valores medios				
		DMS	FAD	Lignina	Cenizas	MS
1	Co997	54,09 (1,000) ^a	25,10 (1,060) ^b	4,53 (1,230) ^b	5,43 (1,231) ^a	31,30 (1,116) ^{ns}
2	C323-68 C86-12 B80250 C89-176	55,41 (0,990) ^a	28,94 (1,130) ^c	5,41 (1,230) ^b	4,67 (1,235) ^b	31,86 (1,118) ^{ns}
3	C89-372 C86-251 C90-316	46,79 (1,040) ^b	39,97 (1,070) ^a	6,92 (1,220) ^a	4,94 (1,233) ^c	31,34 (1,119) ^{ns}
CV (%)		0,844	1,298	0,181	0,070	0,230

Letras diferentes en una misma columna difieren significativamente según la prueba de Tukey; para $p \leq 0,05$. () Valores transformados, MS. Materia seca; DMS. Digestibilidad de la materia seca; FAD: Fibra ácida detergente.

restantes. Las variables fibra ácida detergente (FAD) y lignina, mostraron diferencias significativas en los tres grupos conformados, estos resultados se explican porque en la medida en que disminuye la fibra presente en la caña de azúcar madura, también disminuye su digestibilidad producto de los procesos de lignificación, pero esta disminución se ve compensada con el aumento de la cantidad de carbohidratos solubles de fácil fermentación. Igual comportamiento entre los grupos se presenta para el contenido de cenizas.

Los resultados que se exponen de las variables fibra ácida detergente y lignina deben ser explicados, pues están relacionadas con el valor nutritivo de la caña de azúcar. En relación con lo anterior De Farías *et al.* (23), informaron que el contenido de fibra ácida detergente y lignina mantienen una relación inversa con la digestibilidad de la materia seca. Esta variable también influye en el consumo voluntario de los animales, a menor contenido de fibra aumenta la calidad del alimento y como resultado el animal hace un mayor consumo de materia seca.

Cruz (24), Martín (20), Aguirre *et al.* (25) y Felton (26), plantearon que a medida que aumenta el contenido de fibra ácida detergente, disminuyen los valores de la digestibilidad de la materia seca.

El contenido de cenizas de los cultivares en estudio (4,67-5,43), coincide con los informados por López *et al.* (16) y Urdaneta (21).

CONCLUSIONES

1. Se encontraron diferencias significativas en la composición fenológica de los cultivares de caña de azúcar estudiados, los de mejor comportamiento fueron C86-12, B80250 y C323-68.
2. Se encontraron diferencias estadísticas significativas en la composición química de los cultivares de caña de azúcar estudiados, excepto en la variable proteína bruta.
3. El análisis de conglomerados permitió la formación de tres grupos de cultivares bien diferenciados, en los dos primeros se ubicaron los que presentan digestibilidades de la materia seca superiores al 50 %.
4. Los grupos 1 y 2 del análisis de conglomerados, mostraron diferencias significativas con el grupo 3, en las variables objeto de estudio, excepto en la materia seca.

RECOMENDACIONES

Utilizar los cultivares C86-12, C89-372 y B80250 para la alimentación animal.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Jorge, H.; Suárez, O.; García, H.; Jorge, I.; Benítez, L.; Vera, A. Diversificación de las variedades de caña de azúcar en la alimentación y sostenibilidad del ganado vacuno. ATAC No. 2: Pág. 7- 8. 2009.
2. Fernández, Y. Uso de la caña de azúcar (*Saccharum* sp.). Revista: Centro Azúcar Vol. 41, No. 2: Pág. 12-25. 2014.

3. Mesa, N.G. Recomendación de variedades de caña de azúcar para la alimentación y sostenibilidad del rumiante. Tesis en opción del grado científico de Máster en Ciencias de la producción con rumiante. No publicado. CETAS. Universidad de Cienfuegos. Cuba. 2011.
4. Milanés, N.; López, J.; Balance, M.C.; Hervís, N. Recomendaciones en variedades de caña de azúcar para la ganadería en la provincia La Habana. Revista ATAC 2-97: Pág. 13. 1997.
5. Molina, A. ; Valdez, G. Alternativas tecnológicas para la producción de leche y carne en las actuales condiciones de Cuba. En AGRONAT 98 y III Taller de Extensión Rural. Memorias: Pág. 17. 1998.
6. Suárez, O. Variedades de caña de azúcar para la alimentación del ganado vacuno. Tesis en opción a Máster en Ciencias de la producción con rumiantes: Pág. 46. 2002.
7. Hernández, A.; Pérez, J.; Ortega, O.; Ávila, L.; Cárdenas, A.; Marrero, A.; Companioni, N. Clasificación genética de los Suelos de Cuba. Revista Agricultura VIII (1): p 47-69. 1975.
8. Molina, A.M.; Tuero, O. Selección de variedades de caña de azúcar para el ganado vacuno. Revista ACPA 2: Pág. 21.1995.
9. Kesting, V: Über nevere Ergebnisse zur vesbessirung des in vitro methoder zur schazung der verlay lichkeic. Vor-tragstogung des gesellsahfl fyr Er& brung der DDR, Secktion Tierenok-ung, 1,306, Leipzig.1977.
10. Herrera, R.S.; González, S.B.; Hardy, C.; Pedroso, D.M.; García,M.; Senra, A.; *et al.* Análisis químico del pasto. Metodología para las tablas de composición. ICA. La Habana, Cuba: Pág. 105. 1980.
11. Pérez, D.M. Técnicas de laboratorio para el análisis de minerales en los forrajes. Manual de técnicas de investigación en Rumiología. Sistema de Educación Continua en Producción Animal en México, A.C. México. Pág. 43. 1990.
12. Info Stat: Grupo Info Stat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. 2009.
13. Chávez, M. Uso de la caña de azúcar como forraje. Revista Especializada, Ventana Lechera. San José, Costa Rica, Ed. No. 10, Año 3: 45-51. 2008.
14. Mederos, C. Uso de la caña de azúcar en la alimentación de cerdos ganadería, desarrollo sostenible y medio ambiente. Instituto de Investigación Porcina (IIP), Cuba. Recuperado de <http://www.actaf.com.cu/alimentacion para los cerdos>. Consultado el 28-03-2017. 2012.
15. Rosales, R. Uso de la caña de azúcar en la alimentación animal. Recuperado de <http://www.Opciones.cu/caña de azúcar alternativa visible para la alimentación ganadera>. Consultado 12 /02/ 2017. 2013.
16. López, Y.; Ramírez, J.; Nieves, K.; Fonseca, L. Valor nutritivo de variedades de caña de azúcar para forraje. Revista Pastos y Forrajes, Vol. 27, No. 3: Pág. 34. 2004.
17. Alexander, G. La caña de azúcar como fuente de Biomasa. Sugarcane as fuel: Pág.46.1988.
18. Preston, R. T: Utilización de la Caña de Azúcar en la alimentación animal. En la caña de azúcar como pienso. No. 72: Pág. 71-80.1989.
19. Stuart, R. Selección de variedades de caña de azúcar forrajeras. El aporte del Instituto de Ciencia Animal. En memorias del Foro Internacional. La Caña de Azúcar y sus derivados en la Producción de Leche y Carne, La Habana, noviembre. 2002.
20. Martín, P. Uso de la caña de azúcar para la producción de carne y leche. Revista cubana de ciencias agrícolas. ICA, La Habana, Cuba, Vol. 39: 427-438. 2005.
21. Urdaneta, J. La caña de azúcar. Una opción para el ganadero. Recuperado de <http://www.avpa.ula.ve/>. 2011.
22. Guerra, S.C. Qué debemos tener en cuenta para incorporar la caña de azúcar en la dieta de los animales. Sitio Argentino de producción animal Recuperado de <http://www.Producción Animal.com>. Consultado 18/05/2017. 2013.
23. De Farías, A., A. Rodríguez., G. Nucio y P. Schmidt: Suplementación y Engorde de Bovinos con caña de azúcar y ensilaje de caña de azúcar. Recuperado de <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/117647/1/Binder1.pdf>. Consultado el 22/03/2017. 2010.
24. Cruz, C.M. La fibra en la alimentación del ganado lechero CINA-San José, Costa Rica. 2000.
25. Aguirre, J.; Magaña, R.; Martínez, S.; Gómez, A.; Ramírez, J.; Barajas, R.; *et al.* Caracterización nutricional y uso de la caña de azúcar y residuos transformados en dietas para ovinos. Zootecnia Trop., 28(4): 489-497. 2012.
26. Feltón, R. Curso de nutrición animal. Formas de expresar el contenido de fibra. Recuperado de <http://www.Feednet.ucr.ac.cl/bromatologia/fef.htm>. Consultado 14/03/17. 2014.

Materiales poliméricos para sistemas constructivos

Andrés Gómez-Estévez^{1*}, Gliseria Velazco-Cabrera², Sandra Fanego-Hernández¹, Arelys Rodríguez-Padrón¹, Mercedes Sosa-Hernández¹

1. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (Icidca).
Via Banca 804 y Carretera Central. San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba.
* andres.gomez@icidca.azcuba.cu
2. MINCULT – CUJAE - CECAT, Centro de Estudios de Construcción y Arquitectura Tropical.
Calle 114 No. 11901 e/Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba.

RESUMEN

El presente trabajo trata sobre la aplicación de polímeros furánicos en la protección anticorrosiva primaria como aditivos y secundaria como recubrimientos, con mejoramiento de las propiedades de los morteros estructurales. Los polímeros empleados son la resina FAM y solución de monómeros furanoepoxídicos en fase acuosa (SM), ambas reticuladas con poliaminas alifáticas, el objetivo es buscar una mejor respuesta de las propiedades de estos morteros. De los resultados alcanzados se observa diferencia entre los morteros adicionados y los morteros patrones (no adicionados) evaluados según los procedimientos normados por ASTM y UNE, fijando una fluidez constante $180 \text{ mm} \pm 5 \text{ cm}$, utilizando arena Victoria como árido y cemento portland del Mariel. Los ensayos fueron: resistencia mecánica, densidad seca, por ciento de absorción, ultrasonido, resistividad y absorción capilar. La solución de monómeros de la resina FAM en fase acuosa (SM) al 5 % como aditivo es la que tuvo una mejor respuesta.

Palabras clave: polímeros furánicos, aditivos de morteros, protección primaria y secundaria.

ABSTRACT

The present work is about the application of furanic polymers in primary anticorrosive protection as additives and secondary as coatings, with improvement of the properties of structural mortars. The polymers used are resin FAM and monomer solution in the aqueous phase of this resin (SM), both crosslinked with aliphatic polyamines, the objective is to seek a better response of the properties of these mortars. From the results obtained, a difference was observed between the added mortars and the standard mortars (not added) evaluated according to the procedures regulated by ASTM and UNE, establishing a constant fluidity of $180 \text{ mm} \pm 5 \text{ cm}$, using Victoria sand as an aggregate and portland cement from Mariel. The tests were: mechanical resistance, dry density, percent absorption, ultrasound, resistivity and capillary absorption. The monomer solution FAM in 5 % aqueous phase (SM) as an additive was the one that had a better response.

Key words: furanic polymers, mortar's additive, primary and secondary protection.

INTRODUCCIÓN

Aparejado al propio surgimiento del hombre, aparece la necesidad del mismo por protegerse de los peligros que lo circundaban incluyendo las inclemencias climatológicas y va desde las cavernas hasta la construcción de viviendas, para ello ha empleado la madera, piedras, tierra, follaje y así hasta el adobe, después el cemento, los ladrillos, la cerámica, el acero, el aluminio y otros materiales que por su fuente,

costo y abundancia han cedido el paso a “nuevos materiales”, tal como se les empezó a conocer desde finales de la primera mitad del siglo XX. Dentro de este desarrollo y en particular a la masa o mortero que se empleaba en estas construcciones, se le acompañó de aditivos para mejorar las propiedades, hoy en día son imprescindibles en las mezclas de morteros y hormigones, es incesante además diverso el trabajo de investigación y desarrollo para satisfacer exigencias, costos, durabilidad, entre otras (1, 2).

Evolución de los aditivos hasta la primera mitad del siglo XX

Época romana	Clara de huevo como aireante-plastificante.
1895	Cal grasa (FRANCIA).
1923	Sulfonatos (EEUU).
1923	Naftalenos sulfonados (EEUU).
1930	Lignosulfonatos.
1940	Aireantes.
1960	Naftalenos sintéticos.
1965	Melaminas sintéticas.

El hormigón y los aditivos hasta la actualidad

- Presente en casi todos los hormigones.
- Requiere de gran número de controles.
- Es fundamental para la durabilidad y colocación del hormigón.
- Los aditivos se presentan ya como componentes indispensables.

Sin embargo, deben conocerse las ventajas y las limitaciones de cada familia de aditivos para su óptimo funcionamiento y rendimiento (3,4).

La utilización de hormigones poliméricos ha permitido el desarrollo a nivel mundial de materiales compuestos en base de polímeros sintéticos con una amplia gama de propiedades (5,6). La mayoría de los polímeros que se emplean en estos hormigones son las resinas epoxi, poliéster insaturada, fenólicas y otras, los cuales tienen altos precios en el mercado y provienen de fuentes no renovables como la petroquímica. Productos similares pueden desarrollarse de fuentes renovables, como los que pueden obtenerse a partir de la química de los furanos obtenidos de la biomasa. Cuba dispone de grandes reservas de biomasa, entre ellas el bagazo de caña de azúcar que constituye una fuente renovable importante para el desarrollo de productos derivados (7, 8).

Como parte de la colaboración entre el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (Icidca) y el Centro de Estudios de Construcción y Arquitectura Tropical (Cecat), se decidió trabajar en el desarrollo y aplicaciones de polímeros en la construcción y evaluar las prestaciones que le confieren a los morteros de cemento algunos de los productos de base furánica creados en el Icidca (9, 10).

Se tiene en cuenta en este estudio la agresividad del ambiente en obras del litoral cubano, donde se ubican los principales polos turísticos y varias de las ciudades más pobladas, que hace que los problemas de durabilidad en morteros y hormigones de cemento Portland tomen mayor vigencia. Por lo que se incorporan al objetivo del trabajo el mejoramiento de las prestaciones de morteros y hormigones en el que es importante generar nuevas aplicaciones

y productos que eleven la durabilidad y sustituyan importaciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

En este aparte se expone la caracterización de los materiales utilizados, las dosificaciones empleadas, el proceso de fabricación y curado de las probetas confeccionadas. Se consultaron y realizaron ensayos normalizados NC- 20, 169, 173, 175, 177, 178, 181, 182, 184, 186, 196-6, 231, 504, 506, 507, 523, 524, 601, 657, 724, y 1015-10, todos relacionados con las propiedades de áridos, cemento y morteros, como los de fluidez con morteros frescos y sobre morteros endurecidos los ensayos de resistencias mecánicas, densidad seca, velocidad de ultrasonido, resistividad eléctrica y absorción capilar.

Para estudiar la eficiencia de los polímeros furánicos como aditivos en la protección primaria de los hormigones estructurales, o sea la protección anticorrosiva del refuerzo metálico y su efecto en las propiedades físico mecánicas, se evalúan tres grupos de probetas a las edades de 3, 7, 28, 63 y 91 días, sustituyendo el 5 y 10 % de cemento por resina FAM y solución de monómeros furanoepoxídicos en fase acuosa (SM), ambas reticuladas con poliaminas alifáticas.

La protección secundaria se llevó a cabo con el recubrimiento Fural Ri - 1001 sobre la superficie de las probetas de morteros dosificados según los patrones de las normas ASTM y UNE, aplicando una y dos manos del mismo (1 capa y 2 capas), sobre las probetas y comparando sus resultados contra el de los patrones no recubiertos.

Los instrumentos y equipos utilizados fueron los del laboratorio del Centro de Estudios de Construcción y Arquitectura Tropical (Cecat) perteneciente al Departamento de Ingeniería Civil de la Cujae, Centro de Servicios Técnicos de Ingeniería y Tecnología de la Construcción (Citec), perteneciente a la Unión de Construcciones Militares (UCM) y el Laboratorio Central del Cemento perteneciente al Grupo Empresarial del Cemento y el Vidrio (Cemvid).

En los datos que corresponden al estudio se tuvo en cuenta, la fluidez, densidad aparente del mortero fresco, densidad seca, resistividad eléctrica, velocidad de ultrasonido, resistencias mecánicas (resistencia a flexo - tracción y resistencia a compresión) para las edades 3, 7, 28, 63 y 91. La absorción capilar del mortero endurecido para las edades 28 y 91 días.

Se utilizaron como materiales:

- Cemento Portland 450 de la fábrica del Mariel.
- Arena del yacimiento de Victoria II.
- Zeolita.
- Poliamina alifática comercial HY-943 de la firma

Tabla 1. Propiedades de la resina FAM

Propiedad	FAM
Viscosidad (cp)	3804,2
Densidad (g/cm ³)	1,18
Peso seco (%)	73,29
Tiempo vida (min.)	43
pH	6,2
Furfural libre (%)	3,7 – 3,8

Tabla 2. Propiedades de la solución de monómeros (SM)

Propiedad	SM
% Φ (Furfural libre)	2,34
% MFA (Monofurfurilidenacetona)	18,92
% DIFA (Difurfurilidenacetona)	13,32
% MFE (Monómero Furanoepoxídico)	25,46
% PS	60,84
T. vida (min)	265,00
pH	9,20

Tabla 3. Propiedades del Fural Ri – 1001

Propiedad	FURAL- Ri 1001
Relación de mezclado en peso (resina/endurecedor)	5:1
Relación de mezclado en volumen (resina/endurecedor)	4:1
Temperatura de aplicación (°C)	15 - 40
Tiempo de fraguado (h)	24
Tiempo útil de aplicación (min.)	25 – 50
Tiempo de almacenamiento temperatura ambiente (años)	2
Máxima temperatura que resiste (°C.)	150
Mínima temperatura que resiste (°C.)	- 20
Densidad (g/cm ³)	1.11 – 1.13
Viscosidad (cPs)	100 - 200
Adherencia (MPa)	45 - 50
Rendimiento(kg/m ²)	0.6 – 0.8
Valoración en talleres por su laboriosidad	Excelente

Tabla 4. Propiedades de granulometría de la arena Victoria II

Tamiz (mm)	Granulometría					
	Arena Victoria		Tamizada por No. 4		Tamizada por No. 8	
	(%) Ret.	% pasado	(%) Ret.	% pasado	(%) Ret.	% pasado
9,52	0,22	99,7	0	100	0	100
4,76	10,32	89,68	0	100	0	100
2,38	39,11	60,89	15,1	84,9	0,19	99,81
1,19	70,69	29,31	49,0	51,0	38,22	61,78
0,59	86,51	13,49	76,9	3,0	75,4	24,6
0,297	95,96	4,04	95,5	4,4	96,0	4,0
0,159	97,75	2,25	97,9	2,1	98,0	2,0
Fondo	100	0	100	0	100	0
T. max (mm)	4,76		4,76		2,38	
M.F.	4,0		3,34		3,07	

Ciba, como reticulante de las matrices poliméricas en las formulaciones de recubrimiento, morteros y hormigones.

- Resina FAM.
- Solución de monómeros furanoepoxídicos en fase acuosa (SM).

Caracterización de los morteros

Se realiza la caracterización de los morteros en estado fresco y endurecido, ensayos destructivos y no destructivos, basados en normas cubanas que hemos utilizado para la realización de este trabajo.

Ensayos en el estado fresco: consistencia en la mesa de sacudidas, NC TS 363-3:2004 y densidad aparente del mortero fresco, NC 601:2008.

Ensayos en el estado endurecido: resistividad eléctrica, velocidad de ultrasonido NC 231:2002, densidad seca NC EN 1015-10:2008, absorción capilar NC 171: 2002, resistencias mecánicas (resistencia a flexo - tracción y resistencia a compresión).

Los ensayos físico mecánicos se realizaron en una prensa de marca Controls, modelo Automaz 5. La misma es un equipo moderno que controla automáticamente la velocidad de aplicación de la carga.

Para realizar el ensayo de resistencia flexotracción el gradiente utilizado fue de 50 N/s y la sensibilidad es de 0,2 kN. Para el ensayo de resistencia a compresión el gradiente utilizado fue de 2400 N/s y sensibilidad de 4 kN. Los resultados se obtuvieron directamente en unidades de MPa.

Los ensayos realizados a los morteros de consistencia, densidad, resistividad eléctrica y absorción capilar fueron realizados en el Laboratorio del Centro de Estudios de Construcción y Arquitectura Tropical perteneciente al Departamento de Ingeniería Civil en la Cujae. Los ensayos realizados a los morteros de resistencias mecá-

Tabla 5. Propiedades físicas de la Arena Victoria II

Ensayos	Resultados
Material más fino que le tamiz № 200 (%)	6,7
Peso específico corriente	2,49
Peso específico saturado sin humedad superficial	2,58
Peso específico aparente	2,68
Porcentaje de absorción (%)	2,45
Peso unitario suelto (kg /m ³)	1302
Peso unitario compactado (kg /m ³)	1345
Porcentaje de vacío de la arena (%)	43,0
Humedad superficial (%)	0,00

Tabla 6. Caracterización del cemento

Ensayos físico-mecánicos	Resultados
Superficie específica (Blaine) (cm. ² /g)	3420
Finura de molido -Malla de 90 micra (%)	98,4
Resistencia a compresión 3 días (MPa)	31,2
Resistencia a compresión 7 días (MPa)	36,4
Resistencia a compresión 28 días (MPa)	43,6
Tiempo de fraguado inicial / final (minutos)	80
Expansión (mm)	1,2
Ensayos químicos (%)	
Dióxido de silicio	19,83
Óxido de aluminio	5,69
Óxido de hierro	2,71
Óxido de calcio	63,24
Óxido de magnesio	1,39
Trióxido de azufre	3,18
Óxido de potasio	0,79
Pérdidas por ignición	3,15
Residuos insolubles	1,47
Cal libre	1,2

Tabla 7. Dosificaciones calculadas

Mortero	Dosificación					
	Cemento	Arena	Agua	Resina	Monómero	Aditivo
	(g)	(g)	(ml)	(g)	(g)	(g)
Patrón 1- ASTM	500	1375	242	-	-	7,5
Patrón 2 - UNE	450	1350	225	-	-	6,5
Resina 5 % (M1R5)	475	1375	242	25	-	-
Resina 10 % (M2R10)	450	1375	242	50	-	-
Monómero 5 % (M3M5)	475	1375	231,3	-	25	-
Monómero 10 % (M4M10)	450	1375	220,6	-	50	-

nicas y velocidad de ultrasonido, se realizaron en el laboratorio del Centro de Servicios Técnicos de In-

geniería y Tecnología de la Construcción.

Dosificación de morteros

El diseño de las dosificaciones para este trabajo se realizó teniendo en cuenta la Humedad Superficial de la arena y su Absorción Efectiva. El endurecedor para la resina y monómero con rango de 1,6 g por cada 10 g de resina o monómero y el resto de las propiedades de cada uno de los materiales a utilizar.

Se utilizan morteros patrones de las normas ASTM y UNE, con dosificaciones (cemento - arena - agua/ cemento): (ASTM, 1: 2,75: 0,484 y UNE, 1: 3: 0,5).

El curado de las probetas se realizó en los depósitos de curado del Laboratorio del Centro de Estudios de Construcción y Arquitectura Tropical.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este acápite se muestran las medias de las propiedades físico-mecánicas de las distintas dosificaciones de morteros ensayadas, en Protección Primaria y Protección Secundaria. Las edades abarcan entre los 3 y los 91 días. Además se muestran los valores de los morteros patrones para su comparación con los diseñados con resina y monómero.

Protección primaria en estado fresco

En estado fresco se realizaron los ensayos de fluidez reportados en la tabla 8, donde puede observarse que los valores de las dosificaciones estudiadas son similares a los patrones.

Protección primaria en estado endurecido

En la tabla 9 se exponen los valores medios de los ensayos de densidad, resistividad eléctrica, velocidad de ultrasonido, resistencia a flexotracción y resistencia a compresión a las edades de 3, 7, 28, 63 y 91

días. Además se muestran los valores medios de ensayos de absorción capilar a los 28 y 91 días.

Tabla 8. Resúmenes de los ensayos de la fluidez

Días	Dosificaciones					
	MP -ASTM	MP - UNE	M1- R5	M2 - R10	M3 - M5	M4 - M10
3	17,6	18,4	17,9	18,1	18,0	18,3
7	17,8	18,5	18,0	18,2	18,1	18,5
28	17,5	18,3	17,7	18,0	17,9	18,2
63	17,6	18,3	17,8	17,9	18,0	18,3
91	17,5	18,2	17,9	18,1	18,1	18,3
Promedio	17,6	18,3	17,9	18,1	18,0	18,3

Tabla 9. Resumen de las propiedades en estado endurecido

Propiedades	Días	Dosificaciones					
		MP ASTM	MP UNE	M1 R5	M2 R10	M3 M5	M4 M10
Densidad (g/cm³)	3	2,13	2,12	2,19	2,15	2,17	2,13
	7	2,17	2,17	2,17	2,18	2,18	2,17
	28	2,18	2,18	2,19	2,17	2,26	2,19
	63	2,22	2,20	2,19	2,18	2,20	2,19
	91	2,22	2,17	2,20	2,18	2,20	2,18
Resistividad (KΩ,cm)	3	13,45	14,23	13,08	12,35	12,62	12,12
	7	19,58	18,16	23,53	21,71	20,03	21,33
	28	26,78	26,38	27,30	29,33	34,81	29,82
	63	32,58	34,83	35,38	42,03	35,92	43,83
	91	44,98	44,09	48,70	55,16	43,54	54,38
Velocidad ultrasonido (m/s)	3	3447	3487	3556	3296	3426	3209
	28	3779	3807	3718	3584	3896	3754
	63	3972	3917	3893	3770	3913	3812
	91	4052	3920	3931	3860	3947	3947
Resistencia flexotracción (Mpa)	3	4,40	4,21	4,60	3,46	3,99	3,35
	7	13,46	14,07	9,58	10,73	9,91	10,65
	28	18,90	18,81	18,20	14,90	23,09	17,70
	63	18,80	18,70	19,35	15,20	23,15	18,70
	91	19,83	19,1	19,32	15,34	24,57	19,80
Resistencia a compresión (Mpa)	3	21,0	18,1	20,2	14,6	19,1	12,8
	7	27,42	23,85	16,84	16,40	19,89	14,90
	28	36,78	34,98	32,77	27,93	33,52	32,10
	63	44,52	41,78	38,75	32,19	38,93	33,66
	91	44,54	41,57	39,71	33,67	40,71	37,74
Absorción capilar (g/cm²)	28	1 min	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
		3 min	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
		5 min	0,07	0,05	0,03	0,04	0,04
		10 min	0,12	0,07	0,03	0,03	0,05
		30 min	0,14	0,14	0,15	0,07	0,06
		24 h	0,36	0,32	0,20	0,15	0,20
		48 h	0,46	0,41	0,21	0,22	0,23
		72 h	0,52	0,47	0,25	0,27	0,25
	91	1 min	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01
		3 min	0,02	0,03	0,02	0,01	0,02
		5 min	0,03	0,04	0,03	0,01	0,03
		30 min	0,05	0,06	0,04	0,02	0,03
		24 h	0,13	0,14	0,09	0,05	0,10
		48 h	0,17	0,17	0,12	0,06	0,13
		72 h	0,19	0,19	0,13	0,06	0,14
		5 días	0,22	0,22	0,14	0,08	0,18
		7 días	0,24	0,26	0,16	0,09	0,22

Los resultados de las medias de los ensayos de densidad están entre 2120 y 2200 kg/m³, catalogados como normales y siendo prácticamente iguales a los morteros patrones.

Las medias de los ensayos de resistividad eléctrica son más altas según aumentan las edades de las probetas. A los 28 días el mejor resultado es la sustitución de cemento por la solución de monómero (SM) al 5 %.

Los valores de las medias de los ensayos de las ondas de velocidad de ultrasonido, que demuestra la homogeneidad de las mezclas, están en el rango entre 3209 y 3947 m/s, aumentando según aumenta las edades.

Las medias de los resultados de los ensayos de resistencia a flexotracción aumentan según el avance de las edades ensayadas. La dosificación con mejores resultados a los 28 días es la sustitución de cemento por solución de monómero (SM) al 5 %. Con respecto a los morteros patrones: A los 28 días la sustitución con solución de monómero al 5 % está por encima y el resto por debajo.

Los resultados de las medias de los ensayos de resistencia a compresión demuestran que la dosificación con mejores resultados a los 28 y 91 días es la sustitución del cemento por solución de monómero al 5 %.

En los resultados de las medias de los ensayos de absorción capilar a los 28 y 91 días, la dosificación donde se sustituye el cemento por resina FAM (R) al 10 % es la de menor absorción capilar, fundamentalmente a los 91 días. Con respecto a los morteros patrones: El 90 % de las dosificaciones tienen menor absorción capilar que los morteros

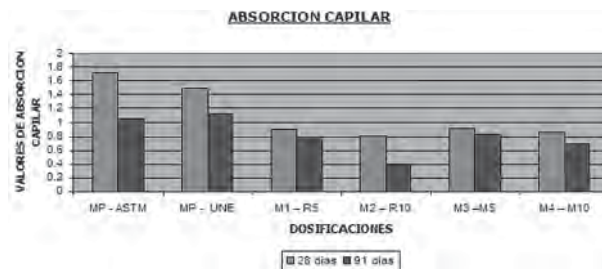


Figura 1. Absorción capilar.

patrones. El 9 % son iguales y solo uno es superior en 0,01 g/cm². Estos resultados se aprecian mejor en la figura 1.

Protección secundaria en estado fresco

Los ensayos de fluidez (consistencia) se realizaron para verificar la uniformidad de los morteros. Se utilizaron las dosificaciones de patrón ASTM para realizar la protección sin curado en agua. En las probetas curadas las dosificaciones patrones fueron tanto ASTM como UNE con y 2 manos (capas) de protección.

Protección secundaria en estado endurecido

En las tablas 10 y 11 se exponen los valores medios de los ensayos de densidad, resistividad, velocidad de ultrasonido, resistencia a flexotracción y resistencia a compresión a las edades de 3, 7 y 28 días. Se presentan en la tabla 10 los ensayos de las probetas sin curar en agua. En la tabla 11 se muestran los valores de los ensayos habiendo realizado el curado de las probetas antes de aplicar la protección secundaria según cada edad ensayada.

Los resultados de las medias de los ensayos de densidad sin curar en agua son similares a los patrones, algo inferior a los 28 días con el recubrimiento de 1 y 2 capas.

Las medias de los ensayos de resistividad eléctrica en las probetas se obtuvieron resultados por encima de los valores de los morteros patrones.

Los valores de las medias de los ensayos de las ondas de velocidad de

Tabla 10. Resumen de las propiedades en estado endurecido (sin curado en agua)

Propiedades	Días	Dosificaciones			
		MP ASTM	MP UNE	MP ASTM 1 capa	MP ASTM 2 capas
Densidad (g/cm ³)	3	2,13	2,12	2,11	2,12
	7	2,17	2,17	2,01	1,96
	28	2,18	2,18	1,97	1,96
Resistividad (KΩ,cm)	3	13,45	14,23	18,06	16,18
	28	26,78	26,38	126,77	106,82
Velocidad ultrasonido (m/s)	3	3447	3487	3156	3201
	7	3486	3522	3072	3082
	28	3779	3807	3016	3072
Resistencia flexotracción (MPa)	3	4,40	4,21	4,09	4,11
	7	13,46	14,07	11,34	12,47
	28	18,90	18,81	17,33	18,56
Resistencia a compresión (MPa)	3	21,0	18,1	17,15	17,5
	7	27,42	23,85	18,84	17,03
	28	36,78	34,98	18,79	21,16

Tabla 11. Resumen de las propiedades en estado endurecido (curadas en agua)

Propiedades	Días	MP ASTM	MP UNE	ASTM 1 capa	ASTM 2 capas
Densidad (g/cm ³)	3	2,10	2,10	2,12	2,11
	7	2,12	2,13	2,12	2,11
	28	2,12	2,15	2,14	2,13
Resistividad (KΩ.cm)	3	25,20	25,92	25,54	25,52
	7	21,93	28,61	26,14	25,29
	28	34,71	29,53	31,18	28,53
Velocidad ultrasonido (m/s)	3	3272	3300	3295	3260
	7	3534	3564	3599	3556
	28	3724	3710	3704	3683
Resistencia flexotracción (MPa)	3	3,95	3,74	4,66	5,05
	7	5,38	4,46	5,94	5,64
	28	4,92	6,93	7,69	7,63
Resistencia a compresión (MPa)	3	21,51	20,68	23,06	19,54
	7	23,87	27,83	26,30	24,01
	28	33,86	36,58	30,21	29,06

ultrasonido presentan valores de velocidades de ultrasonido similares a los morteros patrones.

Las medias de los resultados de los ensayos de resistencia a flexotracción de las probetas que no se curaron antes de aplicarle la protección secundaria son similares a los morteros patrones en todas las edades ensayadas.

Los resultados de las medias de los ensayos de resistencia a compresión tienen en general resultados algo inferiores, resultando los mejores valores al aplicar 2 manos de protección.

Para las probetas curadas en agua los resultados de las medias de los ensayos de Densidad son similares a los patrones.

Las medias de los ensayos de resistividad eléctrica en las probetas se obtuvieron resultados por encima de los valores de los morteros patrones a los 3 y 7 días con morteros ASTM.

Los valores de las medias de los ensayos de las ondas de velocidad de ultrasonido presentan valores muy cercanos o superiores a los morteros patrones.

Las medias de los ensayos de resistividad eléctrica en las probetas fueron por encima de los valores de los morteros patrones a los 3 y 7 días con morteros ASTM

Las medias de los resultados de los ensayos de resistencia a flexotracción de las probetas que se curaron antes de aplicarle la protección secundaria, presentan valores más altos que los morteros patrones en todas las edades ensayadas.

Los resultados de las medias de los ensayos de resistencia a compresión tienen en general mejores resultados al aplicar 2 manos de protección.

CONCLUSIONES

Protección primaria

1. Las medias de los resultados de los ensayos de resistencia a flexotracción aumentan según el avance de las edades ensayadas. La dosificación con mejores resultados a los 28 días es la sustitución de cemento por solución de monómero (SM) al 5 %. Con respecto a los morteros patrones, a los 28 días, la sustitución con solución de monómero (SM) al 5 % está por encima y el resto por debajo.
2. Los resultados de las medias de los ensayos de resistencia a compresión demuestran que la dosificación con mejores resultados a los 28 y 91 días es la sustitución del cemento por solución de monómero (SM) al 5 %. Los morteros con sustitución del cemento por resina y solución de monómero (SM) tienen mayor resistividad eléctrica y menor absorción capilar, que los morteros patrones. Mejoran su estructura de poros.
3. La dosificación ensayada con mejores resultados en las edades de 3, 7, 28 y 91 días, es la sustitución del cemento por solución de monómero (SM) al 5 %.

Protección secundaria

1. Al aplicar 1 o 2 manos (capas) de Fural-Ri 1001, en forma de pintura mejoraron las propiedades de densidad, resistividad eléctrica y resistencia a flexotracción de los morteros.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Albear, D. I. Desarrollo de los aditivos químicos súper plastificantes: La tercera generación. Obras. 23 ed. (2005).
2. Olcina S., J. J. "Evolucion de los aditivos en el hormigon. Presente y futuro"; BASF Master Builders. Solutions; 5 de marzo de 2014.
3. Gómez M., D.; Betancourt R., S. Trabajo de Diploma "Uso de plastificantes a partir de microorganismos eficientes en hormigones"; Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas Facultad de Construcciones. Departamento de Ingeniería Civil, 2010.
4. Compendio Hormigones Morteros Cementos y Áridos. Construcción; Publicado por la Corporación de Desarrollo Tecnológico de la Cámara Chilena de Construcción (CDT); abril 2014.
5. Aguado A., J. M. Salla. Los hormigones con polímeros en la construcción: Propiedades y aplicaciones; Informes de la construcción, ISSN 0020-0883, 39 (389), 1987.
6. Gómez, A., *et al.* (2000). Polímeros para la Construcción. (Cuba). Libro de resúmenes SLAP 2000, 10-C18, pág. 364.
7. Gómez, A., *et al.* Generalización de recubrimientos especiales furanoepoxídicos en la protección de pisos, terrazas, cubiertas transitables y depósitos de hormigón en general, Revista ATAC 65 (1) ,2004.
8. Gómez, A., *et al.* Evaluation of furanepoxy polymeric matriz, Revista Cubana de Química, Vol 16, No.3, 2004.
9. Gómez, A., *et al.* Resinas furanoepoxídicas y su procedimiento de obtención. (Cuba). Patente de Invención No. 22 355 (1994).
10. Gómez, A., *et al.* Estudio de Propiedades Mecánicas en Polímeros Furánicos. Aplicaciones; 17 Conferencia de Química de la Universidad de Oriente, Cuba, IQ - P23, ISBN: 959-207-083-0. (2002).

FitoMas es un cóctel natural de sustancias orgánicas intermediarias complejas de alta energía, especialmente seleccionadas del conjunto mejor representado en la mayor parte de las especies botánicas a las que pertenecen los cultivos económicos, por lo que permite superar perjudic product plantas



Con su acción, FitoMas facilita la interacción suelo-planta, por lo que propicia el desarrollo de la rizosfera, la cual elabora hormonas de crecimiento y otras muchas sustancias útiles al vegetal

FITOMAS (H)

Potenciador de la acción herbicida cuando se mezcla con estos lo cual permite una sensible

reducción de sus dosis. Incrementa el área radicular y mejora la floración cuando se aplica a dosis entre 0.2 y 1 l/ha, al inicio de la floración en frutales y después del ahijado en cereales.

FITOMAS (E)

Es un sustituto parcial de la fertilización convencional porque propicia el desarrollo de la rizosfera (microorganismos simbióticos que viven en las raíces), los que fijan nitrógeno atmosférico y movilizan otros nutrientes minerales.



FITOMAS (M)

Madurador de la caña por excelencia, facilita el engorde y cuajado de los frutos cuando se aplica un mes antes de la cosecha a tubérculos o raíces, en frutales y cereales.



FitoMas



Producto Natural
Antiestrés

Análisis de alternativas para la producción de etanol a partir de jugos de los filtros y jugos secundarios

My-Lai Ibáñez-Fuentes^{1*}, Gustavo Saura-Laria¹, Indira Pérez-Bermúdez¹, Osney Pérez-Ones²,
Lourdes Zumalacárregui-de-Cárdenas²

1. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (Icidca).
Via Banca 804 y Carretera Central. San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba.
* mylai.ibanez@azcuba.icidca.cu
2. Grupo de Análisis de Procesos, Facultad de Ingeniería Química, Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría” (CUJAE).
Calle 114 No. 11901 e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba

RESUMEN

Se analizaron y compararon cinco alternativas para la producción de etanol a partir de jugos de los filtros y jugos diluidos. Estas alternativas se diferencian entre ellas, fundamentalmente, en cuanto a la materia prima utilizada para la producción de etanol. Para realizar los balances de masa y energía, así como para el análisis de las inversiones propuestas, se utilizó la herramienta de simulación “DAFLEX”, diseñada específicamente para la industria azucarera. Los resultados obtenidos muestran que con el desvío del jugo de los filtros y secundarios se puede trabajar más días con la materia prima propia y entregar mayor cantidad de electricidad a la red nacional. Todas las alternativas son factibles desde el punto de vista económico ya que para cada una el VAN es positivo, la TIR es superior a la tasa de actualización y el PRI se encuentra por debajo de los 4 años.

Palabras clave: etanol, materias primas, evaluación económica.

ABSTRACT

In the following work, five alternatives for the production of ethanol from filter juices and diluted juices were analyzed and compared. These alternatives differ between them, fundamentally, in terms of the raw material used for the production of ethanol. To carry out the mass and energy balances, as well as for the analysis of the proposed investments, the simulation tool “DAFLEX”, designed specifically for the sugar industry, was used. The results obtained show that with the deviation of filters and secondary juices the distillery can work more days with its raw material and deliver more electricity to the national network. All the alternatives are feasible from the economic point of view since the NPV is positive, the IRR is higher than the update rate and the PRI is below 4 years.

Key words: ethanol, raw material, economical assessment.

INTRODUCCIÓN

En la producción de alcohol etílico están involucradas varias materias primas entre las que se destacan: las mieles finales de caña de azúcar, jugos de caña, compuestos amiláceos y materiales lignocelulósicos (1). El alcohol etílico exhibe ventajas muy favorables tales como: alto grado de octanaje, alto calor de vaporización y lo más importante, la reducción en la emisión de los gases de efecto invernadero (2).

La agroindustria azucarera a partir de la caña de

azúcar, es una de las fuentes de más impacto en la contaminación del manto freático en los países subtropicales que operan esta industria. También ha sido una de las industrias que mayor cantidad de empleos ha generado anualmente en la franja subtropical del planeta, en tanto que la caña es uno de los cultivos comerciales más extendidos y a la vez, uno de los que con mayor eficiencia utiliza la energía solar para su conversión en biomasa (3).

Otro factor importante a tener en cuenta en la industria alcoholera son los grandes volúmenes de vinazas o mostos generados por las tecnologías con-

vencionales en la destilación de etanol que resultan perjudiciales al medio ambiente (4).

En la producción de etanol, las aguas residuales están compuestas por las aguas de enfriamiento de los condensadores y de la fermentación, así como por los residuos líquidos de las torres de destilación. Entre las aguas residuales producidas por los complejos productores de azúcar y etanol destacan como las más contaminantes, las llamadas vinazas, debido a su elevado contenido de sustancias orgánicas, sean estas biodegradables o no.

Se han propuesto diferentes soluciones para el tratamiento y disposición de este residual como son el fertirriego y su variante de enmienda orgánica, la producción de biogás, producción de levadura Torula, desalinización, concentración, incineración y recirculación al proceso de producción de etanol (5).

En Cuba, las mieles de caña y especialmente las finales han sido la materia prima principal para la producción de etanol. Las mieles finales rinden aproximadamente el 2,5 - 3 % de la caña molida y se acerca al 25 % de la sacarosa producida. Las mieles finales son un producto muy variable y pueden cambiar su composición y cantidad de lote a lote, dentro de la fábrica. La composición de las mieles finales no es uniforme, y está influenciada por diferentes factores. Entre los más importantes se encuentran: tipo de suelo, aplicación de fertilizantes, métodos de cosecha y las especificidades propias del proceso particular aplicado en cada fábrica (6).

Actualmente el uso de los jugos en la producción de etanol constituye una práctica actual de los grandes productores del alcohol, entre los que se destaca Brasil (7). La mezcla de jugo de los filtros y secundarios con miel, es un sustrato de muy buenas características para la producción de etanol, aunque es válido destacar que para que se pueda asimilar en la destilería se necesita realizar previamente un proceso de preparación, clarificación y enfriamiento para que alcance las condiciones óptimas para su empleo en la fermentación alcohólica (8).

El empleo de estos jugos para producir etanol parece ser una alternativa alentadora debido a que los mismos poseen un menor contenido de azúcar y arrastran impurezas y si se derivan a la producción de etanol esto ayudaría a una eficiente operación del ingenio azucarero (9).

El grupo empresarial Azcuba se encuentra inmerso en el Programa de rehabilitación y modernización de la industria alcoholera. Este programa persigue el empleo de jugos en la producción de etanol, así como lograr el incremento de la eficiencia de fermentación y el rendimiento alcohólico en las destilerías de Cuba. Las destilerías cubanas se caracterizan por tener bajas eficiencias de fermentación (75 % - 78 %) y grado alcohólico (4,5 % - 5,5 % (v/v)) en fermentación (10), si se comparan con los

valores que se reportan internacionalmente, que son superiores a 90 % y 8 % (v/v), respectivamente (4).

En este trabajo se analizaron cinco alternativas para producir etanol a partir de jugos de los filtros y jugos diluidos, con el objetivo de obtener mejoras económicas y productivas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Alternativas propuestas

El estudio se realizó en la Empresa Azucarera "Héctor Molina". Con este propósito se evaluaron las alternativas más ventajosas para la producción de etanol, teniendo en cuenta modificaciones en la base tecnológica de la fábrica, así como el empleo del jugo de los filtros y jugos secundarios como materias primas.

- Alternativa 1. Empleo de miel B como materia prima con una capacidad de 500 hL/d e implementación de un sistema de enfriamiento en el área de fermentación.
- Alternativa 2. Empleo de miel B como materia prima y aumento de capacidad a 700 hL/d.
- Alternativa 3. Empleo de miel B como materia prima y aumento de capacidad a 700 hL/d e implementación de un sistema de enfriamiento en el área de fermentación.
- Alternativa 4. Empleo de jugos de los filtros y miel B como materia prima y aumento de capacidad a 700 hL/d e implementación de un sistema de enfriamiento en el área de fermentación.
- Alternativa 5. Empleo de jugos de los filtros y jugos secundarios como materia prima y aumento de capacidad a 700 hL/d e implementación de un sistema de enfriamiento en el área de fermentación.

Premisas generales consideradas en el balance de masa y energía

En la tabla 1 se muestran las premisas generales consideradas para efectuar los balances de masa y energía en el central azucarero y en la producción de derivados.

Para calcular los parámetros de operación de la destilería en las alternativas propuestas se tuvieron en cuenta los siguientes indicadores:

- Eficiencia en fermentación (%).
- Eficiencia en destilación (%).
- Grado alcohólico.
- Índice de consumo de la miel (kg/hL).
- Azúcares reductores totales (%).
- Índice de consumo de los nutrientes (kg/hL).

Premisas generales consideradas en el análisis económico

- La moneda utilizada es el peso cubano (CUP).

Tabla 1. Premisas para el balance de masa y energía en el central azucarero

Datos de entrada	Cantidad
Molienda (t/d)	4 800
Díaz de zafra	150
Fibra en caña (%)	15,0
Agua imbibición % caña	30,0
Humedad del bagazo (%)	48,45
Pol bagazo (%)	1,8
Pureza jugo residual (%)	80,0
Bx bagazo (%)	2,14
Coef. de extracción en los molinos (%)	0,95
Bx de la caña (%)	16,0
Pol en caña (%)	14,0
Cachaza % en caña	3,5
Bagacillo % en caña	1,0
Agua lavado % en caña	4,37
Jugo de los filtros % jugo mezclado	16,0

- La tasa de cambio empleada es de 1 Euro = 1,2 USD (indicada por el Banco Central de Cuba del 06/02/2018) y 1 USD = 10 CUP (11).
- La tasa de actualización asumida para el análisis es de 12 % según tasa de interés para inversiones en el Banco Central de Cuba.
- Se analizan 15 años de producción que incluyen dos años de construcción y puesta en marcha.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se muestran los resultados obtenidos de la simulación de las alternativas propuestas y se realiza una comparación entre las mismas.

Caso base. Esquema actual de producción de la destilería “Héctor Molina”

Para el análisis del caso base se consideraron los parámetros de operación actuales de la fábrica. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 2

La destilería “Héctor Molina” tiene una capacidad de producción de etanol de 500 hL/d. Como materia prima emplean miel B proveniente del central anexo que utiliza un esquema de producción de 2 masas cocidas. Como se muestra en la tabla 2, el central produce 272 t/d de miel B y para cubrir la necesidad de la producción de etanol se necesitan 168 t/d, lo que permite almacenar el resto para trabajar en tiempo de no zafra. Este almacenamiento da una cobertura de operación a la destilería de 243 días totales al año.

Durante el período de zafra la destilería recibe del central azucarero el vapor necesario para el pro-

Tabla 2. Resultados técnicos obtenidos en el caso base

Central azucarero	
Azúcar producida (t/d)	379,3
Miel B producida (t/d)	272,11
Electricidad producida en zafra (MWh)	6,29
Electricidad entregada a la destilería (MWh)	0,25
Electricidad vendida a la red nacional (MWh)	2,58
Destilería	
Capacidad de producción (hL/d)	500
Miel B necesaria (t/d)	168
Miel B a almacenar (t/d)	104
Riqueza alcohólica (%)	5
Eficiencia en destilería (%)	74,2
Eficiencia en fermentación (%)	76,9
Días de trabajo de destilería	243
Volumen de vinaza generado (m ³ /d)	801
DQO de la vinaza (kg/m ³)	47,66
Crema de levadura (t/d)	83,0
Cantidad de dióxido de carbono (CO ₂), (t/d)	40

ceso de destilación y la electricidad para satisfacer su demanda eléctrica. La cantidad de vapor a entregar es de 160 t/d y 0,25 MWh de electricidad. De las 4 800 t/d de caña que muele el central se obtienen 467 t/d de bagazo sobrante generándose 6,29 MWh en tiempo de zafra, consumiéndose 3,71 MWh en la industria (central y destilería). Esto significa que la fábrica tiene garantizada la electricidad necesaria para la producción de etanol y la electricidad vendida a la red nacional es de 2,58 MWh.

Cuando se analiza la eficiencia de fermentación se observa que la misma presenta valores bajos. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Estévez y colaboradores (9), los que plantean que las destilerías cubanas se caracterizan por tener bajas eficiencias (75 - 78 %).

En el caso específico de “Héctor Molina” estas bajas eficiencias están asociadas fundamentalmente a que carecen de un sistema de enfriamiento en la etapa fermentativa (12), aspecto que deberá tomarse en cuenta en el análisis del proceso inversionista de la fábrica.

En cuanto al grado alcohólico, a pesar de que se encuentra en el intervalo en que trabajan las destilerías cubanas, entre 4,5 y 5 % v/v. Estévez *et al.* (9) han demostrado que la implementación de un sistema de enfriamiento en la fermentación ayuda a aumentar los valores de este parámetro a 6 % v/v.

Durante este proceso se generan 801 m³/d de vinazas las cuales tienen una elevada carga orgánica ya que la demanda química de oxígeno es de 47,66 kg/m³ (13). Este residual tan contaminante y otros que se derivan de este proceso como el agua de lavado de los fermentadores, agua de enfriamiento de los condensadores, agua de limpieza de los equipos, etc. se descargan a una zanja que conduce al mar. Desde el punto de vista medio ambiental esto tiene un impacto negativo pues afecta directamente al ecosistema. Por esta razón se requiere buscar una alternativa de tratamiento que permita reducir el nivel contaminante de este residual.

Además, la fábrica produce 83 t/d de crema de levadura *Saccharomyces cerevisiae* que se utiliza como alimento animal y se obtienen 40 t/d de CO₂ que no se recuperan porque los fermentadores están abiertos.

Análisis de las alternativas estudiadas

Alternativa 1. Empleo de miel B como materia prima con una capacidad de 500 hL/d e implementación de un sistema de enfriamiento en el área de fermentación

En la tabla 3 aparecen los resultados del balance cuando se incluye un sistema de enfriamiento en el área de fermentación manteniendo los mismos parámetros de operación utilizados en el caso base.

En el año 2005 en la destilería “Heriberto Duquesne” se evaluó el empleo de un sistema de enfriamiento en la etapa fermentativa, demostrándose que el mismo permite el aumento de los parámetros de eficiencia en la fermentación. Los resultados obtenidos en el balance coinciden con los referidos en

este estudio, donde la eficiencia de fermentación aumentó a valores cercanos a 6 % v/v.

En el caso de estudio la eficiencia de fermentación aumenta de 76,9 a 85 %. Este comportamiento, también coincide con el reportado en el informe mencionado anteriormente (9) y se debe a que cuando se utilizan intercambiadores de placa a contracorriente con flujos de vino y agua se logra enfriar el mosto a temperaturas plenamente compatibles con la fermentación entre los 30 y 32 °C. Esto contribuye a aumentar el grado alcohólico, lo que conlleva a que se emplee de manera más eficiente la materia prima en el proceso, utilizándose 16 t/d de miel B menos que en el caso base. Esta disminución garantiza un período de trabajo de 7 días más lo que equivale a producir 3 500 hL/d adicionales.

En cuanto a la producción de derivados que tiene el proceso de producción de etanol, la fábrica producirá 83 t/d de crema de levadura *Saccharomyces cerevisiae*. En cuanto al volumen de vinazas, al aumentar la eficiencia en la fermentación el índice de generación disminuye de 16 L vinazas / L de etanol a 14, por lo tanto, se generan 700 m³/d, 100 m³/d menos que en el caso base.

Alternativa 2. Empleo de miel B como materia prima y aumento de capacidad a 700 hL/d

En la tabla 4 se muestran los resultados técnicos obtenidos del aumento en la capacidad de la destilería.

Cuando se analizan los resultados técnicos de esta alternativa y se comparan con los obtenidos en el caso base se observan diferencias desde el punto de vista tecnológico. Como se muestra en la tabla 4

Tabla 3. Resultados técnicos obtenidos en la alternativa 1

Central azucarero	
Azúcar producida (t/d)	379,30
Miel B producida (t/d)	272,11
Electricidad producida en zafra (MWh)	6,29
Electricidad entregada a la destilería (MWh)	0,25
Electricidad vendida a la red nacional (MWh)	2,58
Destilería	
Capacidad de producción (hL/d)	500
Miel B necesaria (t/d)	152
Miel B a almacenar (t/d)	120,11
Riqueza alcohólica (%)	6
Eficiencia en destilería (%)	80,75
Eficiencia en fermentación (%)	85,0
Días de trabajo de destilería	269
Cantidad de crema de levadura (t/d)	83,0
Volumen de vinaza generado (m ³ /d)	700

Tabla 4. Resultados técnicos obtenidos en la alternativa 2

Central azucarero	
Azúcar producida (t/d)	379,3
Miel B producida (t/d)	272,11
Electricidad producida en zafra (MWh)	6,53
Electricidad entregada a la destilería (MWh)	0,35
Electricidad vendida a la red nacional (MWh)	2,72
Destilería	
Capacidad de producción (hL/d)	700
Miel B necesaria (t/d)	235
Miel B a almacenar (t/d)	37,11
Riqueza alcohólica (%)	5
Eficiencia en destilería (%)	74,2
Eficiencia en fermentación (%)	76,9
Días de trabajo de destilería	174
Cantidad de crema de levadura (t/d)	116
Volumen de vinaza generado (m ³ /d)	1 120

Tabla 5. Resultados técnicos obtenidos en la alternativa 3

Central azucarero	
Azúcar producida (t/d)	379,3
Miel B producida (t/d)	272,11
Electricidad producida en zafrá (MWh)	6,53
Electricidad entregada a la destilería (MWh)	0,35
Electricidad vendida a la red nacional (MWh)	2,72
Destilería	
Capacidad de producción (hL/d)	700
Miel B necesaria (t/d)	213
Miel B a almacenar (t/d)	59,51
Riqueza alcohólica (%)	6
Eficiencia en destilería (%)	80,75
Eficiencia en fermentación (%)	85
Días de trabajo de destilería	192
Cantidad de crema de levadura (t/d)	116
Volumen de vinaza generado (m ³ /d)	980

la cantidad de miel necesaria para satisfacer la producción de 700 hL/d es de 235 t/d, por lo que la cantidad de miel a almacenar durante la zafrá es menor. Con la miel producida por el ingenio se garantiza la operación de la destilería durante 174 días por lo que para trabajar la misma cantidad de días que en el caso base (243) se debe realizar la compra de 16 215 t de miel B.

La fábrica demanda 0,35 MWh, cantidad que se suministra por el ingenio y la cantidad de electricidad entregada a la red nacional es de 2,72 MWh.

En esta alternativa la eficiencia de fermentación y el grado alcohólico no sufren variaciones.

En cuanto a la producción de derivados que tiene el proceso de producción de etanol, la fábrica producirá 116 t/d de crema de levadura *Saccharomyces cerevisiae*, es decir 33^ot/d adicionales con respecto al caso base, que se utilizan en la alimentación animal. El volumen de vinazas generado es 1 120 m³/d superior a las alternativas anteriores debido al aumento de la capacidad de producción de la destilería.

Alternativa 3. Empleo de miel B como materia prima y aumento de capacidad a 700 hL/d e implementación de un sistema de enfriamiento en el área de fermentación

En la tabla 5 se muestran los resultados técnicos obtenidos del aumento en la capacidad de la destilería.

Como se muestra en la tabla 5, la cantidad de miel necesaria en la destilería es de 213 t/d, por lo

Tabla 6. Resultados técnicos obtenidos en la alternativa 4

Central azucarero	
Azúcar producida (t/d)	358,58
Miel B producida (t/d)	192,55
Electricidad producida en zafrá (MWh)	5,18
Electricidad entregada a la destilería (MWh)	0,35
Electricidad vendida a la red nacional (MWh)	1,48
Destilería	
Capacidad de producción (hL/d)	700
Miel B necesaria (t/d)	30
Miel B a almacenar (t/d)	162,55
Riqueza alcohólica (%)	712
Eficiencia en destilería (%)	6
Eficiencia en fermentación (%)	80
Días de trabajo de destilería	85
Cantidad de crema de levadura (t/d)	251
Volumen de vinaza generado (m ³ /d)	358,58

que la cantidad de miel a almacenar durante la zafrá es mayor permitiendo que aumenten los días de trabajo de la destilería a 192, 18 días más que en la alternativa 2. No obstante para lograr la operación de la destilería durante la misma cantidad de días que en el caso base (243) aún es necesario comprar miel a otros ingenios (3 834 t).

La fábrica demanda 0,35 MWh, cantidad que se suministra por el ingenio y la cantidad de electricidad entregada a la red nacional es de 2,72 MWh.

En cuanto a la producción de derivados que tiene el proceso de producción de etanol, la fábrica producirá la misma cantidad de crema de levadura *Saccharomyces cerevisiae* que en la alternativa 2. El volumen de vinazas generado es 980 m³/d.

Alternativa 4. Empleo de jugos de los filtros y miel B como materia prima y aumento de capacidad a 700 hL/d e implementación de un sistema de enfriamiento en el área de fermentación

En la tabla 6 se muestran los resultados técnicos obtenidos de la alternativa 4.

La producción de azúcar en un central azucarero depende del esquema de cocción utilizado y del desvío de las corrientes intermedias del proceso para la producción de otros derivados. En esta alternativa se mantiene el esquema de dos masas cocidas como en el caso base y en la alternativa 1 pero en este caso se emplea además en la fermentación, el jugo de los filtros.

El desvío de esta corriente azucarada provoca la disminución en la producción de azúcar en un 5,4 %

aunque es válido destacar que el azúcar que se produce en esta variante tiene una mejor calidad y se puede vender a mejores precios en el mercado.

La producción de miel B también se ve afectada al desviar el jugo de los filtros porque disminuye la cantidad de jugo clarificado a enviar a los evaporadores. En este caso de 272 t/d que se producían en la alternativa 1, se obtienen 192,55 t/d de miel B para la destilería.

Como la cantidad de jugo clarificado disminuye existe una disminución en la electricidad generada, ya que el vapor de baja necesario en casa de caldera es menor. La electricidad en esta alternativa sería un 21 % inferior a la de la alternativa 1, no obstante, aún es suficiente para satisfacer las necesidades de la industria y se venden a la red nacional 1,48 MWh.

En esta alternativa al incorporarse el jugo de los filtros en el proceso fermentativo, como es una corriente rica en azúcares solamente se adicionan 30 t/d de miel B como complemento nutricional para el crecimiento de la levadura en los procesos de propagación y pre fermentación. Esto permite almacenar durante el período de zafra 163 t/d, lo que equivaldría a 101 días adicionales de trabajo en la destilería, 18 días más que en la alternativa 1.

Cuando se analiza la eficiencia en la fermentación se observa que existe un aumento en la eficiencia de la fermentación y en la destilería en general. Independientemente que se mantenga el esquema de producción de la fábrica influye en estos resultados la implementación de un sistema de enfriamiento.

En cuanto a la producción de derivados que tiene el proceso de producción de etanol, la fábrica

producirá la misma cantidad de crema de levadura *Saccharomyces cerevisiae* que en la alternativa 2 y 3. El volumen de vinazas generado es 980 m³/d.

Alternativa 5. Empleo de jugos de los filtros y jugos secundarios como materia prima y aumento de capacidad a 700 hL/d e implementación de un sistema de enfriamiento en el área de fermentación.

En la tabla 7 se muestran los resultados técnicos obtenidos de la alternativa 5.

En esta alternativa la extracción de los jugos secundarios junto al jugo de los filtros favorece la producción de etanol porque permite almacenar toda la miel producida (178,14 t/d) para trabajar en tiempo de no zafra. Los días de trabajo totales de la destilería serían de 260. Debido al desvío de la corriente del jugo de los filtros y secundarios se producen 68,21 t/d de azúcar y 14,41 t/d de miel B menos con respecto a las obtenidas en la alternativa 4.

En el área de fermentación se mantienen sin variación la eficiencia de fermentación cuando se compara con las alternativas donde se implementó el sistema de enfriamiento.

Con respecto a la electricidad que se entrega al SEN y la que produce el central existe una disminución de 0,17 MWh y 0,14 MWh respectivamente con respecto a la alternativa 4.

Análisis de la inversión en la destilería

En el programa alcoholero para el año 2018 del Grupo Empresarial Azcuba (14) se realizará un proceso inversionista para la ampliación de capacidad de la destilería “Héctor Molina”, teniendo en cuenta además, el incremento de la calidad y eficiencia en el sistema fermentativo. Para este aumento de capacidad se trasladará de la destilería “Melanio Hernández”, un módulo adicional de destilación comprendido por dos columnas de destilación y equipos de trasiego de corrientes intermedias. Además, se importará el equipamiento necesario para el bombeo de la miel y los jugos, el enfriamiento y acondicionamiento del jugo, así como el enfriamiento en los fermentadores.

Al ser esta inversión compleja se hace necesario realizar una planificación por parte de la Empresa Azucarera para que la misma se ejecute de forma escalonada y no como un proceso inversionista en que las acciones se realicen simultáneamente. Además, hay que destacar que los valores de eficiencia y rendimiento que se pretenden obtener, solo serán alcanzados una vez que se realicen todas las modificaciones del proceso e inversiones necesarias.

Cuando se analizan los costos de inversión se puede observar en la tabla 8 que los mayores costos de inversión corresponden a las alternativas 4 y 5. Esto es debido a que en estas alternativas hay que

Tabla 7. Resultados técnicos obtenidos en la alternativa 5

Central azucarero	
Azúcar producida (t/d)	290,37
Miel B producida (t/d)	178,14
Electricidad producida en zafra (MWh)	5,01
Electricidad entregada a la destilería (MWh)	0,35
Electricidad vendida a la red nacional (MWh)	1,34
Destilería	
Capacidad de producción (hL/d)	700
Miel B necesaria (t/d)	0
Miel B a almacenar (t/d)	178,14
Jugos de los filtros (t/d)	656
Jugos secundarios (t/d)	368
Riqueza alcohólica (%)	6
Eficiencia en destilería (%)	80
Eficiencia en fermentación (%)	85
Días de trabajo de destilería	260

Tabla 8. Inversión para las diferentes alternativas estudiadas

	Alternativa 2 (\$)	Alternativa 3 (\$)	Alternativa 4 (\$)	Alternativa 5 (\$)
Preparación y acondicionamiento del terreno	632 069,85	632 069,85	640 781,85	640 781,85
Obras de Ing. civil, estructuras y edificios	1 053 449,75	1 053 449,75	1 067 969,75	1 067 969,75
Equipamiento tecnológico	10 534 497,46	10 534 497,46	10 679 697,46	10 679 697,46
Instalación de equipos	5 576 075,63	5 576 075,63	5 644 319,63	5 644 319,63
Servicios auxiliares	2 999 559,24	2 999 559,24	3 028 599,24	3 028 599,24
Ingeniería y supervisión	973 054,75	973 054,75	980 314,75	980 314,75
Gastos de construcción	1 946 109,49	1 946 109,49	1 960 629,49	1 960 629,49
Total costos de inversión fija	23 714 816,15	23 714 816,15	24 002 312,15	24 002 312,15
Contingencias	732 621,87	732 621,87	746 851,47	746 851,47
Ganancias del contratista	240 865,93	240 865,93	247 980,73	247 980,73
Costos totales de inversión	24 688 303,95	24 688 303,95	24 997 144,35	24 997 144,35

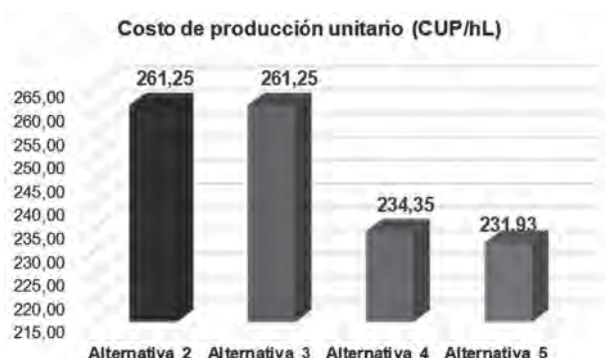


Figura 1. Costos unitarios de producción.

realizar la compra del equipamiento necesario no solo para el aumento de la capacidad en destilación y el trasiego de la miel sino además para el acondicionamiento y enfriamiento de los jugos.

Análisis de los costos de producción

Los costos unitarios obtenidos en el horizonte de planificación del proyecto se muestran en la figura 1.

Como puede observarse los costos de producción unitarios disminuyen cuando se emplean jugos en la producción de etanol (alternativas 4 y 5). Este resultado se debe fundamentalmente a que los jugos son un sustrato más rico en azúcares y permite almacenar miel B durante el período de zafra, permitiendo trabajar más días al año. El empleo de jugo en la fermentación permite reducir el costo de producción con respecto a la alternativa 2 en un 10,3 % para la alternativa 4 y 11,22 % para la alternativa 5.



Figura 2. Estructura de los costos totales. Alternativa 2.



Figura 3. Estructura de los costos totales. Alternativa 3.

En la estructura del costo de producción, los costos asociados a las materias primas son los de mayor influencia con valores que oscilan desde 72,27 % a 74,7 %. La miel y el jugo en dependencia de la alternativa, son los que más inciden. Este comporta-



Figura 4. Estructura de los costos totales. Alternativa 4.



Figura 5. Estructura de los costos totales. Alternativa 5.

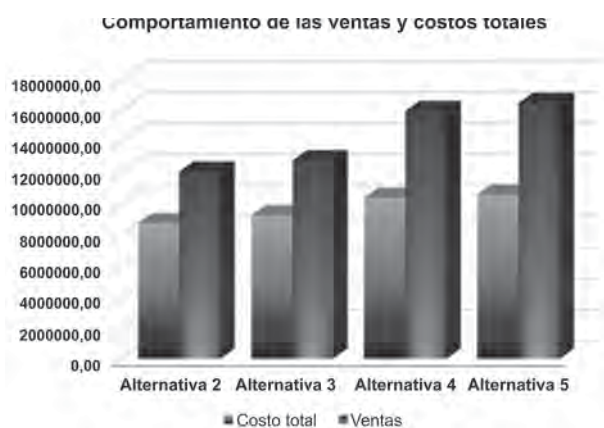


Figura 6. Comportamiento de las ventas y costos totales.

miento puede apreciarse para cada variante en las figuras 2 – 5.

Ingresos por ventas

En la figura 6 se muestra el comportamiento de las ventas y los costos totales.

Como puede apreciarse la comparación indica que las ventas son superiores a los costos en todo el período analizado.

Indicadores financieros seleccionados para la evaluación

Para el análisis de la inversión se obtienen los indicadores de rentabilidad siguientes:

- Valor actualizado neto (VAN).
- Tasa interna de rendimiento del proyecto (TIR).
- Período de recuperación de la inversión (PRI).
- Tasa de rendimiento actualizada (RVAN).

Las mayores ganancias se obtienen con la alternativa 5 y la diferencia se debe fundamentalmente a que cuando se usa jugo de los filtros y jugos secundarios se almacena toda la miel para el tiempo de no zafra trabajando más cantidad de días al año.

Como puede apreciarse todas las alternativas son ventajosas desde el punto de vista económico ya que el VAN es positivo, la TIR es superior a la tasa de actualización y el PRI se encuentra por debajo de los 4 años.

De todas las alternativas, la 5 es la que presenta mejores resultados ya que tiene mayor valor de RVAN, por lo que se obtienen mayores ganancias por cada peso invertido. No obstante, no se descarta ninguna de las alternativas propuestas pues todas tienen buenos resultados en los indicadores económicos.

CONCLUSIONES

1. La extracción del jugo de los filtros del proceso azucarero permite mejorar la calidad del azúcar producido, garantizar materias primas para otras producciones (miel y bagazo), así como obtener esquemas operacionales más económicos.
2. La implantación del esquema de producción donde los jugos se emplean para la producción de

Tabla 9. Indicadores económicos

Alternativa	Ganancias netas (CUP)	VAN (\$/año)	TIR (%)	PRI (años)	RVAN (\$/\$)
2	8 978 864,36	9 181 992,79	40,27	3,80	0,37
3	9 518 815,27	10 817 802,23	42,97	3,64	0,44
4	12 741 657,47	20 356 349,20	58,66	3,00	0,81
5	13 617 249,76	23 009 001,94	63,20	2,87	0,92

etanol trae beneficios económicos debido a que disminuyen los costos de producción.

3. Desde el punto de vista económico la inversión a

realizar en la destilería es viable ya que el período de recuperación se encuentra por debajo de los 4 años y se obtienen indicadores económicos positivos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abril A. Etanol a partir de biomasa lignocelulósica. Monografía 2010.
 2. Lopes M, Paulillo C, Godoy A, Cherubin R. Ethanol production in Brazil: a bridge between science and industry. Brazilian Journal of Microbiology. 2016;47:64-76.
 3. Otero M, Almazán O. Las levaduras como base de una industria. Diferentes aplicaciones. 2012.
 4. Alonso D. Evaluación de alternativas de mejoras energéticas y ambientales en la destilería Jesús Rabí [Máster] 2015.
 5. Lorenzo Y, Eng F. Tratamiento industrial de vinazas de destilerías en reactores UASB. Revista Tecnología Química. 2015.
 6. Alves D. Respostas fisiológicas de duas linhagens de *Saccharomyces cerevisiae* frente ao potássio durante a fermentação alcoólica. [Doctorado]: Instituto de Biociências/UNESP, Ríio Claro; 2000.
 7. Otero M, García R, Saura G. Producción de bioetanol a partir de mezclas de jugos-melazas de caña de azúcar. ICIDCA. 2009.
 8. Pérez I, Garrido N. Equipamiento básico para una instalación de enfriamiento del jugo de los filtros. CubAzúcar. 2001:26-8.
 9. Estévez R, Saura G, Martínez J. Informe de la evaluación de la extracción de jugo de los filtros y secundarios en el comportamiento de la fábrica de azúcar Heriberto Duquesne. ICIDCA. 2005.
 10. Saura G, Domenech F. Desarrollo del programa integrado de producción de alcohol en la industria azucarera. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar, Cuba, Alcohol. Dd; 2006.
 11. Grupo Derivados A. Indicaciones del Ministerio de Finanzas y Precios para el Grupo Empresarial AZCUBA. 2017.
 12. Díaz E. Destilería Héctor Molina. Datos técnicos de la destilería Héctor Molina ed 2017.
 13. Alonso D, Ramos S. Informe Técnico. Diagnóstico ambiental a empresa azucarera "Mayabeque" y a la UEB Derivados "Héctor Molina". 2017.
 14. González C. 2017. Comunicación personal.
-

Un centro moderno al servicio del medio ambiente



CENGMA

**Centro Nacional de Gestión
de Medio Ambiente
de la Industria Azucarera**



Procedimiento para transformar el aceite de soya usado en ésteres etílicos

Claudia A. Fandiño-Rodríguez^{1*}, Anabel Sarracent-López², José Gandón-Hernández²

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

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

* claudia.fandino@azcuba icidca.cu

2. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (CUJAE).

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

RESUMEN

La posibilidad de convertir desechos potencialmente peligrosos para el medio ambiente y dañinos para la salud como son los aceites de freír usados en un combustible ecológico como el biodiesel, puede ser una actividad experimental significativa pues se le estaría dando solución a un problema de importancia tecnológica y con repercusiones económicas, sociales y ambientales. Se investigó con aceite de soya residual, proveniente de una empresa productora de alimentos fritos y etanol. Se conoce que con este alcohol el proceso de transformación presenta dificultades que no aparecen con el metanol, pero se evitan dos inconvenientes de este último: toxicidad y adquisición, pues al ser un derivado de la industria azucarera nacional, no constituye una materia prima de importación. Se experimentó con concentraciones de etanol de 90, 95 y 99,5 %, concentraciones de catalizador 0,31 y 0,41 y relaciones molares 4:1, 6:1 y 8:1. La mejor condición obtenida fue: concentración de etanol 99,5 %, relación molar 8:1 y concentración de catalizador 0,41 con un rendimiento de 71 %, viscosidad de 20,78 cSt y grado de acidez de 1,153 mg KOH/g de aceite. Finalmente se estableció un procedimiento para una concentración de etanol de 95% pues es el más comúnmente comercializado en nuestro país.

Palabras clave: aceite vegetal usado, transesterificación, etanol, ésteres etílicos .

ABSTRACT

The possibility of converting waste to the environment and harmful to the environment such as biodiesel, can be a significant experimental activity because it would give a solution to a problem of technological importance and economic, social and environmental repercussions. It was investigated with residual soybean oil, from a company that produces fried foods and ethanol. It is known that with this alcohol the process presents difficulties that do not appear with methanol, but the disadvantages of the latter are avoided: toxicity and acquisition, since it is a derivative of the national sugar industry, it does not constitute an import raw material. It was experimented with ethanol concentrations of 90, 95 and 99.5 %, catalyst concentrations 0.31 and 0.41 and molar ratios 4:1, 6:1 and 8:1. The best condition obtained was: ethanol concentration 99.5 %, molar ratio 8:1 and catalyst concentration 0.41 with a yield of 71 %, viscosity of 20.78 cSt and degree of acidity of 1.153 mg KOH / g of oil. Finally, a procedure was established for an ethanol concentration of 95 % as it is the most commonly marketed in our country.

Key words: used vegetable oil, transesterification, ethanol, ethyl esters.

INTRODUCCIÓN

El aceite vegetal tiene un sinnúmero de aplicaciones en la esfera alimenticia, una de ellas es la fritura de productos a condiciones severas, siendo capaz de transmitir calor y proporcionar al alimento sabor, color y textura (1). Tanto en el aceite como el

alimento ocurren cambios físicos y químicos mientras ocurre la fritura (2).

El proceso de fritura se ha extendido en los establecimientos de alimentos rápidos, en la industria alimentaria e incluso en los hogares, acarreando un mayor consumo de aceites en cocinas y por consiguiente mayor cantidad de residuo del mismo (3).



Figura 1. Etapas de la reacción de transesterificación de aceite vegetal usado para obtener las fases glicerina y ésteres de ácidos grasos.

El uso inadecuado que se le ha dado a los aceites vegetales usados indica que se deben establecer alternativas viables para su aprovechamiento (4): por lo que convertirlo a biodiesel en una alternativa sumamente atractiva (5).

El proceso más utilizado para la obtención de este biocombustible, es a partir de la transesterificación (figura 1) (6). La misma constituye una variante ventajosa, no solo para el tratamiento de un residual muy peligroso, el aceite desechado proveniente de la fritura de alimentos, sino que puedes sustituir a los combustibles fósiles, al petróleo y sus derivados, pues se están agotando y a mediano plazo no será posible cubrir la demanda mundial (7).

Esta alternativa en el contexto cubano pretende ser una solución local con el fin de erradicar el problema medioambiental que provoca el vertimiento del residual y tratar de contrarrestar el uso incontrolado del mismo. Por lo que el objetivo de este trabajo es establecer un procedimiento con transesterificación alcalina para la obtención de ésteres etílicos a partir de aceite de soya usado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación del material experimental

Los aceites desechados de fritura contienen inicialmente sólidos suspendidos, por lo que se realizó una operación de filtrado al vacío para eliminar dichas impurezas (2). Además fue necesario el secado del mismo en una hornilla eléctrica a una temperatura de 100 °C y en presencia de agitación constante para eliminar el agua captada durante los procesos de fritura (2).

Caracterización de la materia prima

Al aceite de soya usado se le determinó el porcentaje de compuestos polares, viscosidad cinemática, grado e índice de acidez.

Determinación del porcentaje de compuestos polares

Inicialmente el equipo fue calibrado usando un aceite de referencia para el cual debe obtenerse un 6,9 % de materiales totales polares (TPM) para aproximadamente un 0,5 de nivel de tolerancia (8). Una vez calibrado el instrumento, cuando la muestra alcanzaba los 40 °C era introducido el medidor de

compuestos polares del aceite, denominado Testo, hasta el nivel indicado. En la pantalla digital del equipo se observa el porcentaje de compuestos polares y además un color que se encarga de indicar en qué intervalo se encuentra el valor de TPM medido. La escala de colores se muestra a continuación:

- Verde si el valor se encuentra por debajo de 20 %, significa que el aceite se encuentra en buen estado.
- Naranja si el valor se encuentra entre 20 % y 24 % se recomienda cambiar el aceite.
- Rojo si el valor se encuentra por encima de 24 % significa que el aceite debe ser necesariamente sustituido.

A continuación se muestran algunas de las especificaciones principales del equipo:

- La temperatura del aceite de fritura a evaluar no debe ser menor de 40 °C.
- La exactitud del equipo es de $\pm 1,5$ °C de temperatura y ± 2 % en CP (8).

Determinación de la viscosidad

Para determinar la viscosidad se utilizó un viscosímetro automático con las especificaciones que aparecen en la tabla 1.

Tabla 1. Características del viscosímetro

Método estándar	ASTM D 445, D 7279, ISO 3104
Cantidad de capilares	4 capilares de cristal
Intervalo de temperatura	20 °C a 110 °C
Dimensiones	43,5 x 47,5 x 62,0 cm
Peso	33 kg
Inyección	manual
Limpieza	Automática con tolueno

Se inició la medición cuando la temperatura del baño del viscosímetro fue la requerida (40 °C), la cual fue verificada mediante un termómetro. Luego se seleccionó el número de serie del capilar a emplear en función de la viscosidad esperada para el aceite, siendo seleccionado el capilar 2 a 0,2.

Este equipo tiene acoplado un sistema computacional que reporta los valores de viscosidades en cSt, medidas en el mismo.

Determinación de acidez y grado de acidez

Esta técnica se realizará con el objetivo de determinar los ácidos grasos libres en los aceites. El contenido en ácidos grasos libres se expresa mediante la acidez calculada según el método convencional. Tiene como principio disolver la muestra en una mezcla de disolventes y valorar de los ácidos grasos libres mediante una solución etanólica de hidróxido de potasio.

Procedimiento

1. Preparación de la muestra para la prueba: La determinación se efectuará en una muestra filtrada. Si el contenido global de humedad e impurezas es inferior al 1 %, se utilizará la muestra tal cual.
2. Muestra para la prueba: Tomar la muestra, según el grado de acidez previsto, de acuerdo a la tabla 2.
3. Pesar la muestra en el matraz erlenmeyer.
4. Disolver la muestra en 50 mL de la mezcla de éter dietílico y etanol, previamente neutralizada.
5. Valorar, agitando, con la solución de hidróxido de potasio de 0,1M hasta el viraje del indicador (la coloración rosa de la fenostaleína debe permanecer rosa al menos por 10 segundos).

Tabla 2. Peso de la muestra según el grado de acidez

Grado de acidez previsto	Peso de la muestra (g)	Precisión de la pesada de la muestra (g)
<1	20	0,05
1 a 4	10	0,02
4 a 15	2,5	0,01
15 a 75	0,5	0,001
>75	0,1	0,0002

Expresión de la acidez en porcentaje de ácido oleico

Según NC-ISO 660 (9) se determinó la acidez e índice de acidez.

Se tomará como resultado la media aritmética de dos determinaciones (10).

Diseño experimental

Para realizar los experimentos se fijaron las siguientes variables: velocidad de agitación de 250 rpm, un tiempo de reacción de 30 minutos (11) y 50 °C de temperatura (7, 12), se estableció un tiempo de reacción de 30 minutos (13, 14). En el caso de la temperatura de reacción, para su selección se tuvo en cuenta que la misma no exceda el punto de ebullición del etanol (78 °C), para evitar su evaporación (7, 13,15).

Determinación de los niveles para la relación molar alcohol: aceite, concentración de catalizador y alcohol

Las experiencias estuvieron dirigidas a determinar la influencia en el rendimiento, viscosidad e índice de acidez de los ésteres de la relación molar alcohol: aceite, concentración de catalizador y alcohol a los niveles reportados en la tabla 3, correspondiendo al diseño factorial de 3² y 2¹, con dos réplicas en cada corrida experimental, para un total de 54 experimentos.

En relación a los niveles acordados para la relación molar alcohol: aceite, los mismos fueron seleccionados en base a criterios reportados en la literatura (12, 15, 16) y se decidió tomar este valor como referencia y definir los restantes niveles estableciendo una diferencia de ± 2 unidades.

En cuanto a los niveles establecidos para la concentración de etanol, se tuvo en cuenta que de forma general la literatura estudiada, plantea que el etanol absoluto es el más utilizado en este proceso de transesterificación (17, 18, 19) no obstante se decidió trabajar a niveles más bajos, ya que este alcohol se comercializa en el país entre el 95%-96%. Además la posibilidad de trabajar a concentraciones más bajas, permite utilizar alcoholes rechazados de otras producciones.

Tabla 3. Diseño experimental original

Variables	Símbolo del parámetro	Niveles	Codificación
Concentración de etanol (%)	X ₁	90	-1
		95	0
		99,5	1
Relación molar	X ₂	4/1	-1
		6/1	0
		8/1	1
Concentración de catalizador (g)	X ₃	0,31	-1
		0,41	1

Con respecto a los niveles de concentración de catalizador, se conoce que cuando el aceite es usado se requiere más NaOH que el nuevo, para neutralizar los ácidos grasos libres que se forman durante el proceso de fritura, los cuales afectan la reacción de transesterificación.

Se seleccionó un diseño D-óptimo mediante el programa Statgraphics Centurion XV, versión 15.2.05 con un total de 16 experimentos. Las condiciones correspondientes a dichas experiencias se presentan en la tabla 4.

Tabla 4. Diseño D-óptimo

No. de corrida	Concentración de etanol (%)	Relación molar	Concentración de catalizador (g)
2	99,5	8/1	0,31
5	95	6/1	0,31
15	90	4/1	0,31
18	95	8/1	0,41
25	90	8/1	0,41
27	95	6/1	0,31
30	99,5	8/1	0,41
31	90	8/1	0,31
33	90	4/1	0,41
34	95	4/1	0,41
37	90	8/1	0,31
40	90	4/1	0,31
46	95	6/1	0,31
48	95	4/1	0,41
49	95	8/1	0,41
54	90	6/1	0,41

Descripción de los experimentos

Determinación del rendimiento del producto

La determinación del rendimiento de la reacción se efectuó mediante la ecuación (1):

$$\text{Rendimiento \%} = \frac{V_{FEEAG}}{V_{aceite}} * 100 \quad (1)$$

V_{FEEAG} : volumen de la fase de ésteres etílicos de ácidos grasos.

Caracterización de la fase de los ésteres etílicos

Para la caracterización de la fase rica en ésteres se utilizó el mismo procedimiento que para la caracterización del aceite; en este caso no se realizó la determinación de compuestos polares.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Preparación del material experimental

Caracterización del aceite de soya

Para la caracterización del aceite de soya usado o residual, resultó de gran importancia determinar experimentalmente las principales propiedades físicas, mediante las técnicas que se mostraron anteriormente. En la tabla 5 aparecen los resultados.

Según los resultados obtenidos, se corrobora la necesidad de descartar el aceite pues el equipo dio una señal naranja, la cual aparece si el valor se encuentra entre 20 % y 24 %. El valor medio de mate-

Tabla 5. Porcentaje de compuestos polares presentes en la muestra analizada

% Compuestos polares	
Muestra	Aceite usado
1	21
2	20
3	20
Media	20,5
Desviación estándar	0,577350

riales totales polares (tpm) fue de 20,32 % aproximadamente.

Determinación de la viscosidad

En la tabla 6 aparecen los resultados de las mediciones de viscosidad cinemática para el aceite nuevo y el aceite usado o residual. Todas las mediciones de viscosidad fueron realizadas a 40 °C y en cSt.

Tabla 6. Mediciones de viscosidad para aceite de soya usado

Muestra	Aceite	
	Nuevo	Usado
1	31,93	37,61
2	31,59	37,77
3	31,83	37,46
Media	31,78	37,61
Desviación estándar	0,174738	0,155027

Al analizar los valores de viscosidad tanto del aceite usado como nuevo no se observan diferencias significativas pero lógicamente el valor de la viscosidad del aceite usado es mayor que la del nuevo.

Durante el freído, los aceites vegetales presentan cambios físicos y químicos por lo que se forman algunos compuestos indeseados y desconocidos (15) que incrementan el valor de la propiedad. Son los polímeros uno de los principales causantes del incremento de la viscosidad pues son de mayor tamaño y peso molecular ya que son productos de la combinación de los radicales libres entre ellos o con otros ácidos grasos (20).

Las desviaciones estándares de las viscosidades presentan valores adecuados puesto que se encuentran entre -2 y 2, por lo que el equipo utilizado para realizar las mediciones es preciso.

Determinación del grado de acidez y acidez

A continuación se muestran las tablas con los resultados de la determinación del grado de acidez y acidez, respectivamente.

Tabla 7. Mediciones del grado de acidez del aceite de soja usado

Muestra	Acidez (% ácido oleico)
1	2,23
2	2,25
Media	2,24
Desviación estándar	0,01

El valor promedio del grado de acidez obtenido es superior al reportado por la bibliografía consultada (0,2 %) (7). Esto quiere decir que este aceite presentó una gran cantidad de ácidos grasos libres debido principalmente a los ciclos de fritura a los que fue sometido.

Tabla 8. Mediciones del índice de acidez del aceite de soja usado

Muestra	Índice de acidez (mg KOH/g de aceite)
1	4,44
2	4,48
media	4,46
Desviación estándar	0,03

Según bibliografía consultada, el límite establecido en las normas para esta propiedad es 0,6 mg KOH/g de aceite, lo cual indica que el índice de acidez obtenido está fuera del límite (7) y que el agua procedente de los alimentos y las elevadas temperaturas causa la hidrólisis y por consiguiente el aumento de los ácidos grasos libres (15).

Obtención de la mejor condición experimental

En la tabla 9 se muestran los resultados obtenidos, a partir del diseño de experimento planteado en la tabla 4.

Esta tabla indica la influencia de la concentración de etanol, relación molar y concentración de catalizador sobre el rendimiento de la reacción, la viscosidad, el grado e índice de acidez del producto obtenido durante la transesterificación. El rendimiento se encuentra en un intervalo de 55 % hasta 86 %. Por otro lado la viscosidad oscila entre 6,21 cSt y 31,25 cSt. En el caso del grado de acidez, esta varió, en dependencia de las condiciones, desde 0,88 % en oleico hasta 1,37 % en oleico.

Los rendimientos obtenidos se consideraron elementales debido a que no se obtuvieron respecto a la conversión de esteres etílicos sino en cuanto a la cantidad de aceite de partida. Como se puede apreciar los rendimientos fueron bajos para las condiciones de operación establecidas, lo que era de esperar puesto que la separación de fases es más complicada en la producción de ésteres etílicos, lo cual coincide con los resultados obtenidos por Martínez O.M. y Suárez, O. (21) quienes obtuvieron un rendimiento al aceite de 74,4 % en condiciones muy similares.

La viscosidad es una propiedad que brinda una medida de la calidad del biocombustible, lo que

Tabla 9. Resultados obtenidos

Nº de corrida	X ₁ (%)	X ₂	X ₃ (g)	Rendimiento de la reacción (%)	Viscosidad (cSt)	Grado de acidez	Índice de acidez
2	99,5	8/1	0,31	61	6,65±0,03	1,20±0,01	2,388±0,01
5	95	6/1	0,31	80	26,43±0,39	1,024±0,07	2,037±0,07
15	90	4/1	0,31	82,4	30,42±0,07	1,375±0,03	2,736±0,03
18	95	8/1	0,41	72	20,82±0,14	1,135±0,01	2,258±0,01
25	90	8/1	0,41	80	26,65±0,12	1,136±0,01	2,260±0,01
27	95	6/1	0,31	79,6	26,74±0,01	1,051±0,01	2,091±0,01
30	99,9	8/1	0,41	50	6,20±0,01	1,122±0,01	2,232±0,01
31	90	8/1	0,31	86	30,61±0,32	1,153±0,04	2,294±0,04
33	90	4/1	0,41	81	29,85±0,24	1,142±0,002	2,272±0,002
34	95	4/1	0,31	84	23,39±0,05	1,094±0,01	2,177±0,01
37	90	8/1	0,31	87	29,72±0,16	1,149±0,01	2,286±0,01
40	90	4/1	0,31	81,4	31,25±0,03	1,341±0,004	2,668±0,004
46	99,5	8/1	0,31	78	25,46±0,13	1,084±0,01	2,157±0,01
48	95	4/1	0,41	83,6	24,04±0,31	1,102±0,005	2,192±0,005
49	95	8/1	0,41	71	20,78±0,11	1,153±0,01	2,294±0,01
54	90	6/1	0,41	78	29,53±0,15	1,122±0,01	2,232±0,01

quiere decir que en cierta forma se puede inferir la existencia de una mayor o menor cantidad de ésteres etílicos (22, 23). Independientemente de que los valores de viscosidad reportados en la tabla 9 como era de esperarse son inferiores al valor del aceite de soya usado, se aprecia que de forma general fueron superiores al intervalo establecido para los biocombustibles. Uno de los inconvenientes de los ésteres etílicos comparados con los metílicos, lo constituye su viscosidad que resulta significativamente mayor en el caso de los primeros, además los ácidos grasos por los que están compuesto los triglicéridos y demás productos intermedios que quedan sin reaccionar presentan viscosidades superiores a la de los ésteres (16, 24). No obstante se observó que con etanol absoluto se obtuvieron valores de viscosidad cercanos al intervalo recomendable para los biocombustibles el cual fue mencionado anteriormente.

Con respecto a los valores de grado e índice de acidez se observó que no se encontraron bajo las especificaciones establecidas para estas propiedades, esto se justifica ya que independientemente de operar con un exceso de catalizador para garantizar la neutralización de los ácidos grasos libres que presentó el aceite usado, se tiene además que durante la reacción se incrementan estos ácidos grasos libres por lo que se infiere que formen parte de la fase de ésteres etílicos.

En la figura 2 se ilustra la significación estadística de los parámetros investigados. Como se muestra en la misma, la concentración de catalizador y relación molar fueron significativas para las tres variables respuesta, y en el caso del grado de acidez el efecto cuadrático de la relación molar también tuvo una influencia significativa, esto se traduce a que la variable dependiente no cambia de forma lineal, sino que varía en dependencia de los valores que tome

la variable independiente, mientras que la concentración de etanol fue significativa para el rendimiento de la reacción y la viscosidad cinemática, y en el caso de la viscosidad y grado de acidez el efecto cuadrático de la concentración de etanol también presentó significación estadística, todo para un nivel de confiabilidad de un 95 %.

Rendimiento de la reacción

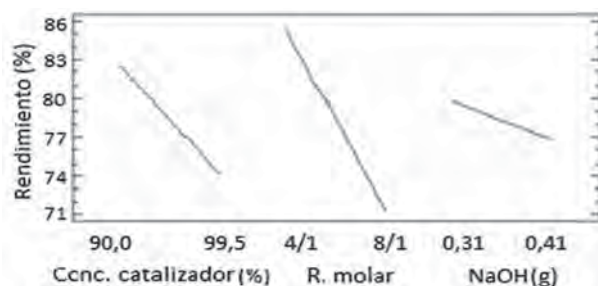


Figura 3. Tendencia del comportamiento del rendimiento de la reacción con el cambio de las variables estudiadas.

Como se puede apreciar los tres parámetros estudiados influyen de forma negativa en la variable dependiente, debido a que lo que se desea son altos rendimientos de la reacción.

Es posible valorar en la figura 3 que a medida que aumenta la concentración de etanol, la disminución del rendimiento de la reacción volumétrico es representativa. Es sabido que difícilmente la reacción de transesterificación consigue ser completa y esto se dificulta aún más cuando se utiliza etanol, no obstante cuando se trabaja a altas concentraciones de este alcohol, disminuye el porcentaje de agua, lo

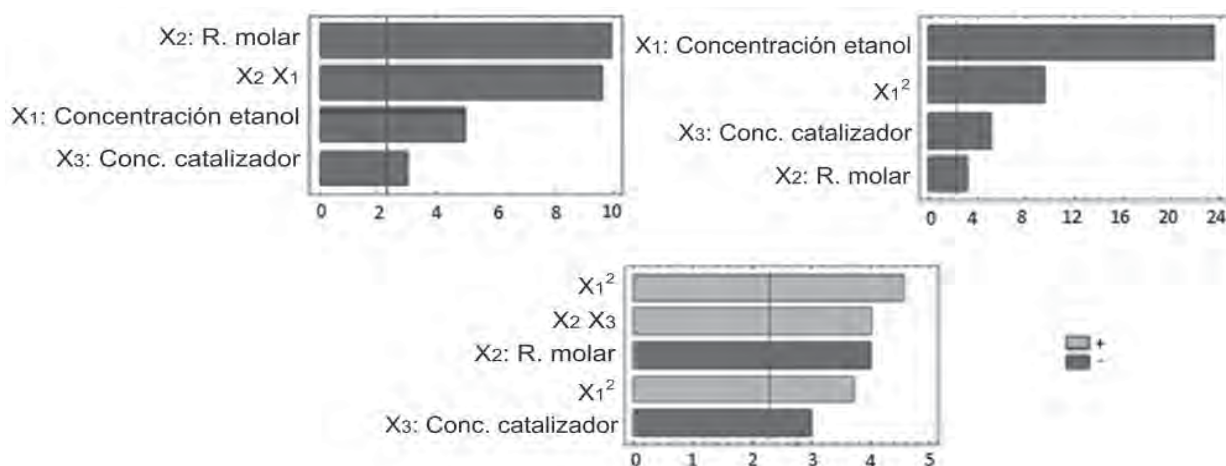


Figura 2. Diagramas de Pareto estandarizados para cada variable de respuesta. [a]: Rendimiento de la reacción, [b]: Viscosidad cinemática, [c]: Grado de acidez.

que contribuye que no se favorezca el proceso de saponificación (12, 25), por lo que se infiere que la conversión de triglicéridos en ésteres etílicos será mayor durante la reacción, disminuyendo así la cantidad de compuestos intermedios como son monoglicéridos, diglicéridos y triglicéridos, lo que se tradujo en un menor volumen de producto y por ende en menores rendimientos. Esto quiere decir que a menores concentraciones de etanol, a pesar de que se observa que se alcanzan mayores rendimientos volumétricos, se puede deducir de todo este análisis que el rendimiento de ésteres etílicos será menor en el producto final.

Con respecto a la relación molar y la concentración de catalizador se evidencia el mismo comportamiento que con la concentración de etanol. La disminución del rendimiento con el aumento de la relación molar viene dada porque aunque se conoce que en la etanolisis química se recomienda alimentar un exceso de alcohol, un valor alto de relación molar afecta la separación de las fases debido al incremento de la solubilidad de la glicerina con el etanol, y es por ello que se evidencia una disminución de los rendimientos (12, 26).

En lo que respecta a la concentración de catalizador este parámetro influyó aunque en menor medida en la disminución del rendimiento, esto viene dado por la emulsificación de la mezcla, además que la viscosidad del medio aumenta, dificultando el contacto entre los componentes lo cual dificulta la separación (15, 27).

Viscosidad cinemática

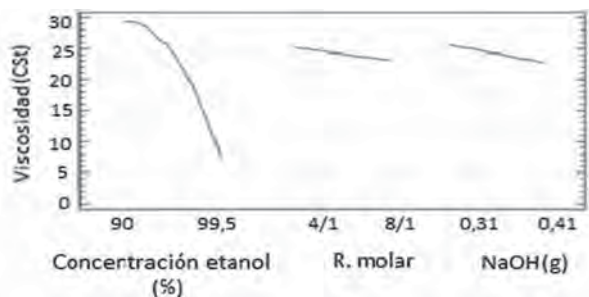


Figura 4. Tendencia del comportamiento de la viscosidad de la reacción con el cambio de las variables estudiadas.

Se puede apreciar en la figura 4, respecto a la viscosidad, que los tres parámetros estudiados influyen de forma positiva pues lo que se pretende es la disminución de esta propiedad.

Es de esperarse que con el aumento de las tres variables estudiadas disminuya la viscosidad. Esto es debido a que a mayores valores de concentración de etanol y relación molar se favorece la conversión de triglicéridos por lo que en el producto final se ob-

tiene mayor cantidad de ésteres etílicos los cuales presentan menor viscosidad que los triglicéridos, diglicéridos y monoglicéridos (24). El efecto cuadrático de la concentración de etanol demostró que a valores menores de 90 % existiría un aumento de la viscosidad cinemática de la fase de los ésteres etílicos (7). En relación a la influencia de la concentración de catalizador se puede decir que a diferencia del rendimiento de la reacción donde esta variable tuvo una influencia negativa, en este caso permitió mejores conversiones de ésteres etílicos lo que contribuyó a menores valores de viscosidad.

Con el análisis del rendimiento volumétrico las tres variables estudiadas influyen de forma negativa en lo que respecta a la disminución de esta variable pero luego de analizar que la viscosidad como se mencionó, es una propiedad que indica la conversión de ésteres etílico, se puede decir que las tres variables respuesta influyen de forma positiva respecto a la conversión de ésteres etílicos. En la eficiencia de la reacción de transesterificación, a menores valores de rendimiento se tienen menores valores de viscosidad y viceversa.

Grado de acidez

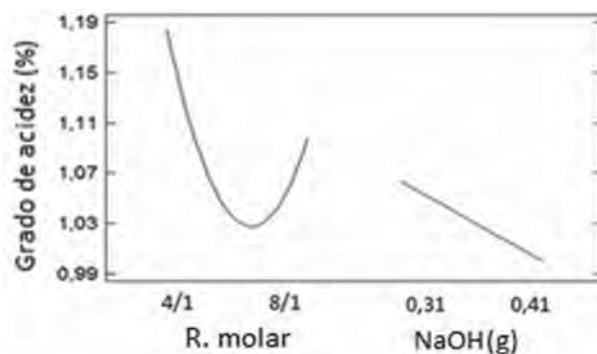


Figura 5. Tendencia del comportamiento del grado de acidez de la reacción con el cambio de las variables estudiadas.

Si se analiza cómo cambia el grado de acidez con la variación de la relación molar, se puede apreciar que en un principio esta variable disminuye progresivamente, para después aumentar. Esto puede deberse a que posiblemente con el aumento de la relación molar, como se mencionó anteriormente, al aumentar la solubilidad de la glicerina con etanol, esta se mantiene en la solución lo que hace que la reacción revierta hacia la izquierda, por lo que parte de los ácidos grasos libres se mantuvieron en la fase de los ésteres etílicos (12, 28, 29).

Por otra parte con el aumento de la concentración de etanol existió una disminución del grado de acidez, esto quiere decir que no se favoreció la reacción de saponificación por lo que las cantidades

de catalizador utilizadas en exceso realizaron su función principal que es neutralizar los ácidos grasos libres que presenta el aceite usado y los que aparecen durante la reacción, no obstante según el análisis realizado se puede seguir investigando con valores mayores de concentración con vista a lograr una disminución del porcentaje de ácidos grasos libres presentes en la fase de ésteres etílicos, lo cual también es válido para la disminución de la viscosidad según lo estudiado para esta propiedad.

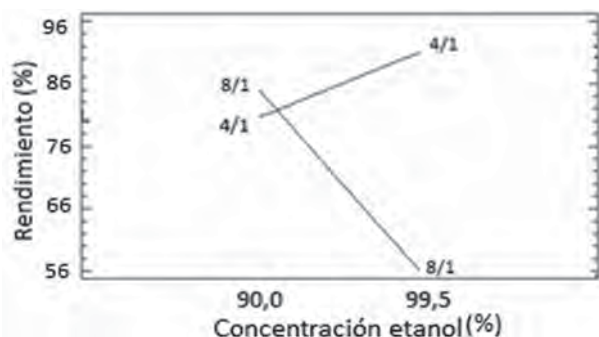


Figura 6. Interacción para el rendimiento de la reacción.

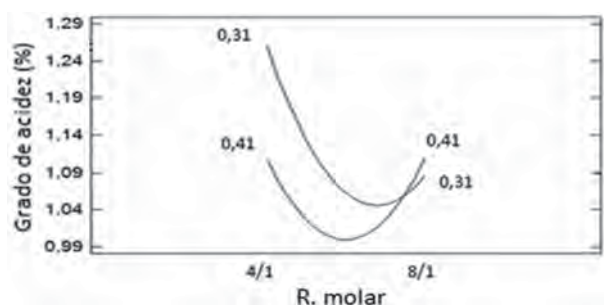


Figura 7. Interacción para el grado de acidez.

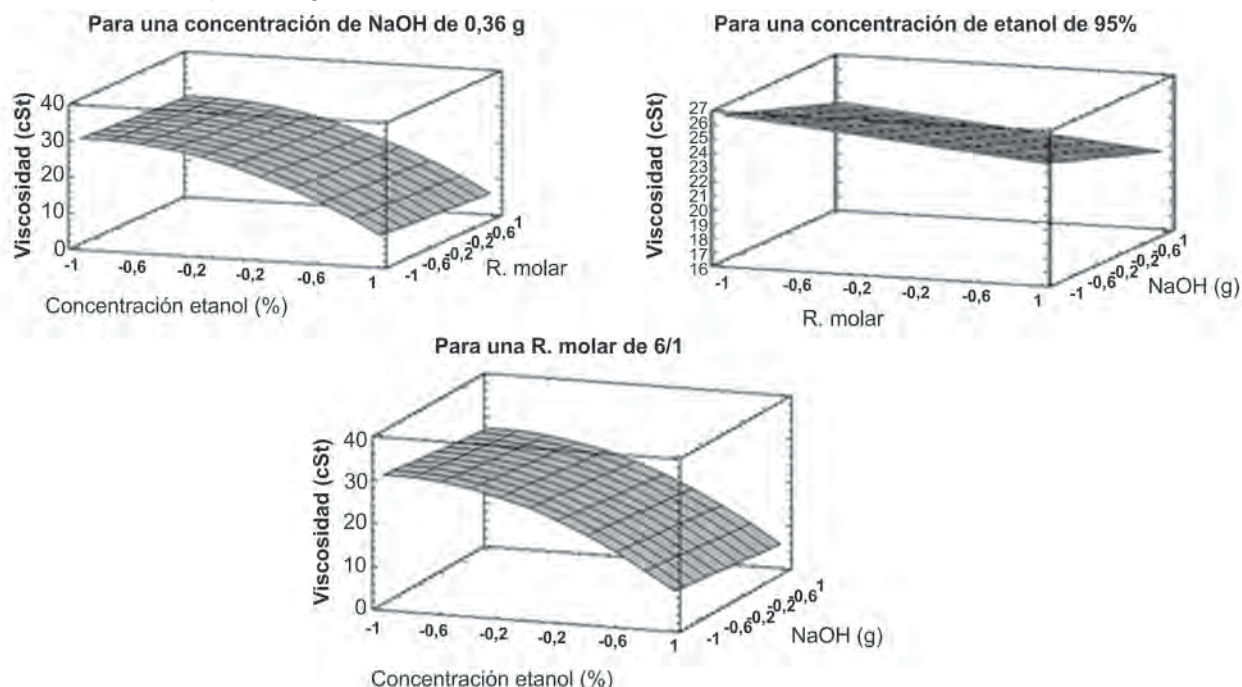


Figura 8. Superficie de respuesta para la viscosidad.

Con el análisis de la figura 6 para el rendimiento de la reacción, se aprecia que cuando interacciona la relación molar y concentración de catalizador se obtiene el menor rendimiento cuando se trabaja a 8/1 y 99,5 %, arrojando un valor de viscosidad a la concentración de catalizador media (0,36 g) de 6,43 cSt, lo cual corrobora que a menor rendimiento menor viscosidad correspondiendo este análisis al realizado antes, para los efectos principales.

En la figura 7 se observó que con la interacción entre concentración de catalizador y relación molar los menores valores de grado de acidez se alcanzan con una concentración de 0,41 g y relación molar cercana a 8/1, además esta interacción influyó de forma positiva (ver figura 3 (c)) en la disminución de esta propiedad.

A continuación se muestran los modelos obtenidos para cada variable dependiente estudiada.

$$Y_1 = 78,29 - 4,19X_1 - 7,03X_3 - 8,81X_1 X_2 \quad (2)$$

$$Y_2 = 24,15 - 10,91X_1 - 1,04X_3 - 1,46X_3 - 5,75 X_1^2 \quad (3)$$

$$Y_3 = 1,03 - 0,043X_2 - 0,032X_3 + 0,076X_1^2 - 0,109X_2^2 + 0,044X_2 X_3 \quad (4)$$

En resumen luego de analizar la influencia de las tres variables estudiadas sobre el rendimiento de la reacción y las propiedades de los ésteres etílicos, viscosidad cinemática y grado e índice de acidez, se decidió que la viscosidad fuese la variable fundamental (19) para establecer la mejor condición experimental lograda a partir del proceso de transesterificación básica. Además la viscosidad de los combustibles es una de las propiedades que más influencia ejerce en las prestaciones de un motor,

pues disminuir los valores de la misma es lo que se persigue al transesterificar el aceite de soya usado para obtener valores similares al combustible diésel, aunque mezclas del tipo B5, B10 o B20, serían recomendables para dar cumplimiento a los requerimientos de fabricantes de motores para utilizar este tipo de combustible ecológico (30).

La mejor combinación de los niveles de los factores que se obtuvo a partir del análisis estadístico, con la cual se alcanzó el menor valor de la viscosidad fue a una concentración de etanol al 99,5 %, una relación molar de 8/1 y una concentración de catalizador de 0,41 g de NaOH. Sin embargo se decidió establecer que para próximas investigaciones se trabaje a una concentración de etanol al 95 % pues es más rentable desde el punto de vista económico debido a que es de producción nacional. A continuación se muestra la superficie respuesta para la viscosidad con respecto a las tres variables dependientes estudiadas.

Procedimiento con transesterificación alcalina para la obtención de ésteres etílicos a partir de aceite de soya usado

Se estableció un procedimiento a nivel de laboratorio para llevar a cabo la transformación del aceite de soya usado con etanol.

Este procedimiento difiere a los establecidos en investigaciones precedentes debido a que existieron modificaciones en las etapas de separación y purificación de la fase de los ésteres etílicos.

1. Caracterización de la materia prima.
2. Reacción de transesterificación básica con concentración de etanol al 95 %:
 - No ocurre separación de las fases.
3. Método de separación: neutralización, añadiendo

HCl al 0,5% v/v con mediante un mecanismo de aspersión seguido de una agitación laminar.

4. Purificación de ésteres:
 - Lavado con HCl al 0,5% v/v y con agua corriente de pH=7,12 y T=50°C mediante un mecanismo de aspersión seguido de una agitación laminar
 - Secado: Evaporación del agua presente en los ésteres.
5. Almacenamiento en recipientes resistentes y cerrados herméticamente.

CONCLUSIONES

1. En la caracterización de la materia prima se encontró que los valores de la viscosidad se encuentran en el intervalo reportado en la bibliografía, el porcentaje de compuestos polares indicó que el aceite debía ser cambiado ya que su valor fue de 20,5 % y el grado de acidez y el índice de acidez resultaron superiores a los reportados en la bibliografía.
2. La mejor condición establecida fue: etanol al 95 %, relación molar 8/1 y 0,41 g de catalizador, correspondiendo a un rendimiento de 71 %.
3. Las propiedades físico-químicas determinadas para los ésteres etílicos obtenidos en la mejor condición fueron la viscosidad igual a 20,78 cSt la cual es comparable con la del biodiesel y el grado e índice de acidez de 1,153 % y 2,294 mg de KOH/g de aceite respectivamente, superiores a los reportados en la bibliografía.
4. Los resultados obtenidos permitieron establecer un procedimiento para la transformación de aceite de soya usado con etanol, con una modificación en la etapa de separación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Martínez, J. Conversión de aceites vegetales usados en biodiesel utilizando metanol: Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría; 2013.
2. Sánchez, L. Conversión de aceites vegetales usados en biodiesel utilizando etanol: Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría; 2013.
3. Valdés, L. Estudio de la influencia de diferentes aceites comestibles residuales en la obtención de biodiesel.: Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría; 2013.
4. Abreu, A.M.; Ruiz, S.; Cardenas, M. Obtención de biodiesel a partir de aceites vegetales usados. ION. 2006; vol. 19 (No 1).
5. Abril, GCJ.; Cabrales N. Biodiesel a partir de bioetanol y aceite de palma. Estudio tecnoeconómico. Dyna. 2010(164):264-73.
6. Cruz, Y. Diseño de un reactor para la obtención de un biocombustible a partir de aceite usado.: Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría; 2013.

7. Sarracent, A. Estudio de la transformación del aceite de soya usado en ésteres etílicos: Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría; 2014.
8. Pagés, E. Diseño de un dispositivo para la determinación de los compuestos polares presentes en aceites vegetales usados: Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría; 2014.
9. NC-ISO 660. Aceites y grasas de origen animal y vegetal. Determinación del índice de acidez y de la acidez. Cuba, 2001
10. Analíticos en la alimentaria. Métodos oficiales de análisis: aceites y grasas. Cons. 2015: <http://www.usc.es/caa/MetAnalisisStgo1/aceites.pdf>
11. Encinar, J.; Gonzalez, J.; Rodriguez, J.; Tejedor, A. Biodiesel Fuels from Vegetable Oils: Transesterification of Cynara cardunculus L. Oils with Ethanol. *Energy & Fuels*. 2002;16(2):443-50.
12. Rojas, A.F.; Gallego, E.; Torres, H.G. Variables de operación en el proceso de transesterificación de aceites vegetales: una revisión - catálisis química. *Ingeniería e Investigación*. 2009;vol. 29(No 3):p. 17-22.
13. Dalla, B.O.; Pisarello, M.L. Procesos de producción de biodiesel: uso de materias primas alternativas y de alta acidez: Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica (INCAPE), Universidad Nacional del Litoral.
14. Encinar, J.M.; González, J.F.; Rodríguez-Reinares, A. Biodiesel from used frying oil. Variables affecting the yields and characteristics of the biodiesel. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2005;44(15):5491-9.
15. Cifuentes, M.F. "Obtención de biodiesel a partir de aceite usado de cocina por transesterificación en dos etapas, con dos tipos de alcoholes" [Tesis de Maestría]. Santa Fé de Bogotá, Colombia: Universidad Libre de Santa Fé de Bogotá; 2010.
16. Gashaw, A.; Teshita, A. Production of biodiesel from waste cooking oil and factors affecting its formation: a review. Bule Hora, Ethiopia: Bule Hora University; 2014.
17. Vieitez, I. Transesterificación en alcoholes supercríticos como alternativa para la producción de biodiesel: Universidad de la República, Uruguay; 2010.
18. Zuleta, B.J.; Díaz, L.; Bastidas, M. Obtención de biodiesel por transesterificación de aceite crudo de palma africana (*Elaeis guineensis*) con etanol. *Revista Energética*. 2007(No. 38):47-53.
19. Kucek, K.; Wilhem, H.; Ramos, L. Ethanolysis of Refined Soybean Oil Assisted by Sodium and Potassium Hydroxides. *J Amer Oil Chem Soc*. 2007;84:385-92.
20. Aceites de fritura. Artículo aparecido en la revista Alimentación, equipos y tecnología. Cons. 2015 <https://es.scribd.com/document/97026825/Aceites-de-Fritura-PDF>
21. Martínez, O.M.; Suárez, O. Producción de ésteres etílicos a partir de aceite de palma RBD. *Ingeniería e Investigación (SciELO)*. 2007;27(2).
22. Torossi, F.D. Reacciones en contexto: la transesterificación en la producción de biodiesel a partir de aceites de fritura usados. Argentina: Universidad de Entre Ríos; 2006.
23. Hamelinck, C.; Scober, S. Fatty acid ethyl esters. Final report for Lot 3a of the Bioscopes. 2007.
24. Cedeño, F.O.; Prieto, M.M. Estudio de la densidad y de la viscosidad de algunos ácidos grasos puros. *Grasas y aceites*. 1999;50(5):359 - 68.
25. Encinar, J.M.; González, J.; Rodríguez-Reinares, A. Ethanolysis of used frying oil. Biodiesel preparation and characterization. *Fuel Processing Technology*. 2007;88(5):513-22.
26. Refaat, A.A. Different techniques for the production of biodiesel from waste vegetable oil Department of Chemical Engineerin, Faculty of Engineering. 2010.
27. Freedman, B.; Pryde, E.; Mounts, T. Variables affecting the yields of fatty esters from transesterified vegetable oils. *Journal of the American Oil Chemists Society*. 1984;61(10):1638-43.
28. Meher, L.; Dharmagadda, V.S.; Naik, S. Optimization of alkali-catalyzed transesterification of *Pongamia pinnata* oil for production of biodiesel. *Bioresource technology*. 2006;97(12):1392-7.
29. Arrieta, A.R.A.; Garrido, J.A.P.; Castellanos, F.J.S. Transesterificación del aceite de palma con metanol por catálisis heterogénea. *Ingeniería e Investigación*. 2005;25(2):71-7.
30. Biocombustibles para su uso en motores Diesel.(2014) ISBN:978-959-234-095-4 I, https://www.researchgate.net/profile/Ramon_P/publication/281827163_Biocombustibles_para_motores_diesel/

Empleo de métodos estadísticos para mejorar la exactitud en la determinación de los componentes de la caña de azúcar

Mauricio Ribas-García*, Ramón Consuegra-del-Rey, Marlen Alfonso-Alfonso, Susana Ravelo-Bravo

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

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

* rmauricio.ribas@icidca.azcuba.cu

RESUMEN

En el presente trabajo se evaluaron las tablas para la determinación de fibra y pol en caña, obtenida por la aplicación del método de la prensa hidráulica, descrito en el MACU (Manual Métodos Analíticos para Azúcar Crudo). Se analizaron muestras de caña correspondientes al 45 % de las variedades actualmente comercializadas. La evaluación consistió en comparar los resultados obtenidos por el método de la prensa hidráulica con el método de desintegración húmeda que es considerado un método de referencia.

Como resultado se obtuvo que lo contenido en el MACU aporta una exactitud aceptable, pero que es mejorable. El análisis estadístico de los experimentos dio lugar a nuevos modelos matemáticos que permiten determinar las variables con mayor exactitud.

Palabras clave: desintegrador húmedo, método prensa hidráulica, caña de azúcar, análisis de regresión.

ABSTRACT

In the present work the tables for the determination of fiber and pol in cane, obtained by the application of the hydraulic press method, described in the MACU (Manual Analytical Methods for Crude Sugar) were evaluated. Cane samples corresponding to 45 % of commercial Cuban cane varieties were analyzed. The evaluation consisted of comparing the results obtained by the hydraulic press method with the wet disintegrator method which is considered a reference method.

As a result, it was obtained that MACU tables' accuracy is acceptable, however it could be better. New mathematical models derived from experiments statistical analysis permit a more accurate determination of fiber and pol.

Key words: wet disintegrator, hydraulic press method, sugar cane, regression analysis.

INTRODUCCIÓN

En las fábricas de azúcar cubanas se usa el método de la prensa hidráulica para la determinación de fibra y pol en caña. El manual "Métodos analíticos de azúcar crudo" (1), conocido por las siglas MACU, contiene tablas derivadas de ecuaciones en las que la fibra es función del peso de la torta derivada del prensado, mientras que la pol en caña lo es de la fibra y de la pol del jugo extraído por la prensa. Las tablas del MACU datan de los años 80 en los que la composición varietal de la caña es diferente a la actual, por lo que especialistas del Icidca (2) realizaron experimentos para valorarlas y mejorarlas (en caso

necesario) en el actual contexto de variedades de caña tomando como técnica de referencia el método de desintegración húmeda (DH).

En el presente trabajo se realiza un tratamiento estadístico de los resultados, dividido en tres etapas, que permitió evaluar la exactitud del método prensa actual implementado en el MACU (1) comparado con el método de referencia de Desintegración Húmeda (DH) (3-5), se correlacionaron los componentes de la caña determinados por DH con el peso de la torta húmeda del método prensa, teniendo en cuenta diferentes variedades y edades de la caña sembradas actualmente en Cuba. Por último, las nuevas expresiones obtenidas fueron sometidas a

un proceso de validación que demostró una mejor exactitud del método prensa, con las nuevas expresiones incorporadas, con respecto al método prensa que aparece descrito actualmente en el MACU.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se tomaron 89 muestras de seis variedades de caña planta, que constituyen cerca del 45 % del total de caña sembrada en el país en la actualidad. Además, se evaluaron muestras de caña industrial del central “Jesús Rabí”.

Cada muestra fue sometida a un proceso de desfibrado, homogeneizado y se dividieron en dos porciones de ensayo. Una porción de ensayo de la muestra homogénea se sometió al proceso de prensado y a partir de la medición del peso de la torta húmeda se determinó el contenido de fibra por el método de la prensa hidráulica descrito en el MACU. La otra porción de ensayo fue utilizada para determinar el contenido de fibra mediante el método de desintegración húmeda (DH).

Para evaluar la proximidad entre los valores de fibra en caña reportados por el método prensa descrito en el MACU y por el método de desintegración húmeda se calculó el error cuadrático medio (ECM), la desviación estándar residual (RSD) y la desv. estándar residual relativa según las ecuaciones 1, 2 y 3, respectivamente.

$$ECM = \frac{\sum_{i=1}^n (F_i^{MACU} - F_i^{DH})^2}{n-1} \quad (1)$$

$$RSD = \sqrt{ECM} \quad (2)$$

$$RSD = \frac{RSD}{\text{Valor medio DH}} \cdot 100 \quad (3)$$

DESARROLLO

La tabla 1 contiene una comparación de la fibra en caña determinada mediante el método prensa descrito en el MACU con respecto al método de referencia que es el de desintegración húmeda (DH).

El resultado de la comparación dio lugar a una desviación estándar residual RSD=0,28 lo que indica que los valores de fibra en caña obtenidos por el método prensa descrito en el MACU se diferencian como promedio en 0,28 unidades respecto a la fibra en caña determinada por el DH. No obstante, hay variedades de caña donde esta dispersión puede llegar a ser de hasta 0,44 unidades.

La desviación estándar residual relativa RSD % =1,87 %, se considera aceptable. Sin embargo, los valores de fibra en caña determinados por DH siempre son mayores que los obtenidos por el método prensa descrito en el MACU independientemente de la variedad de caña (tabla 1).

Teniendo en cuenta lo anterior se puede concluir que las determinaciones de la fibra en caña obtenidas mediante el método prensa no se alejan mucho de la realidad, pero es posible obtener valores más exactos de este componente si se correlaciona la fibra en caña obtenida por DH con el peso de la torta húmeda medida por el método prensa descrito en el MACU.

Modelo de regresión para determinar fibra en caña

A continuación, se decidió aplicar la técnica de análisis de regresión con el objetivo de obtener un modelo con una buena capacidad de predicción que permita estimar los valores de fibra en caña determinados por el DH, a partir del peso de la torta húmeda obtenida por el método prensa.

Se realizó un análisis de residuos para identificar las observaciones más alejadas del modelo. Esto se logra con el cálculo de los Residuos Estudentizados para cada valor predicho por el modelo y considerando como observaciones más alejadas del modelo aquellas que tienen valores de Residuos Estudentizados mayores que 2,5. También fue necesario identificar aquellas observaciones que tienen una alta influencia sobre los parámetros del modelo. Son observaciones que si se eliminan cambian los valores de los parámetros del modelo porque tienen una influencia mucho mayor que la influencia de un

Tabla 1. Comparación de los valores de fibra en caña obtenidos por el MACU y por DH

Variedad y edad	No. de muestras	Fibra DH (%)	Fibra MACU (%)	RSD	RSD%
C86-12 (15 meses)	26	14,23	14,00	0,27	1,90
Co 997 (12 meses)	10	17,00	16,75	0,44	2,59
C323-68 (17 meses)	10	14,76	14,64	0,26	1,76
C86-56 (17 meses)	5	14,55	14,24	0,35	2,41
Pruebas Rabí	14	14,96	14,76	0,28	1,87
C92-325 (12 meses)	10	15,35	15,18	0,24	1,56
C1051-73 (12 meses)	10	15,50	15,29	0,23	1,48
Contenido disperso	5	13,77	13,59	0,24	1,74
Total	89	14,97	14,76	0,28	1,87

punto promedio. Las tablas 2 y 3 muestran los resultados de estos análisis. Se encontraron 5 Residuos Estudentizados mayores que 2,5, lo que es considerado suficientemente grande, y se decidió remover estas 5 observaciones del modelo (tabla 2). Hay 2 observaciones con más de 5 veces el valor de influencia promedio (tabla 3).

Tabla 2. Residuos atípicos

Fila	Y	Y predicha	Residuo	Residuo Estuden.
33	17,30	16,52	0,548	3,07
36	17,33	16,68	0,654	3,75
44	14,80	15,18	-0,381	-2,68
45	14,90	15,29	-0,392	-2,54
52	13,28	13,71	-0,431	-2,85

Tabla 3. Puntos influyentes

Fila	Influencia	Distancia de Mahalanobis	DFITS
54	0,116	10,419	-0,487
87	0,1168	10,419	-0,4876

Influencia media de un solo punto = 0,022

El modelo ajustado con los 4 puntos anteriores excluidos muestra que el término correspondiente al peso de la torta (PT) es estadísticamente significativo con un nivel de confianza del 95,0% (tabla 4).

El modelo obtenido responde a la siguiente ecuación:

$$Fibra_{caña} = 2,22502 + 0,0850224 \cdot Peso_{torta} \quad (4)$$

Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0,05 (tabla 5), existe una relación estadísticamente significativa entre las variables con un

Tabla 4. Resultados del modelo para la fibra

Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	Valor-P
Constante	2,225	0,216	10,284	0,000
PT	0,0850	0,0014	59,295	0,000

Tabla 5. Análisis de Varianza

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	67,438	1	67,438	3515,90	0,000
Residuo	1,515	79	0,0192		
Total (Corr.)	68,953	80			

R-cuadrada = 97,80 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 97,77 por ciento

Error estándar del est. = 0,138

Estadístico Durbin-Watson = 2,20903 (P=0,807)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0,107

nivel de confianza del 95,0 %. El modelo es capaz de explicar más de 97,8 % de la variabilidad de los datos de fibra en caña con un error estándar de las estimaciones igual a 0,14. Esto significa que en promedio los valores de fibra en caña determinados por el modelo se diferencian en 0,14 unidades de los valores observados utilizando el método de referencia de DH.

La prueba de Durbin-Watson (DW) para determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en el que se presentan los datos dio no significativa (valor-P > 0,05). Por lo tanto, no hay indicación de una auto correlación serial en los residuos con un nivel de confianza del 95,0 %.

Los gráficos de los residuos del modelo muestran que todos sus valores se distribuyen aleatoriamente sobre la línea horizontal por lo que no hay necesidad de incorporarle otros términos al modelo. Los residuos no revelan presencia de heteroscedasticidad en los datos, o sea, la variabilidad de los datos cambia conforme la media cambia. En este caso la variabilidad de los datos es la misma para todos los valores predichos (figura 1).

Se puede concluir que, mediante el uso de la ecuación (4) se mejora la exactitud de la determinación de fibra en caña por el método prensa, ya que disminuye la desviación estándar residual (RSD) de 0,28 (tabla 1) a 0,14.

Determinación de la pol en caña

La determinación de la pol en caña responde a expresiones matemáticas en las que la variable es función de la pol del jugo derivado del prensado y de la fibra en caña, la última dependiente del peso de la torta.

Se realizó un estudio con 40 muestras de diferentes variedades de caña que se comercializan actualmente en Cuba para relacionar la razón:

$$N = \frac{Pol_{caña}}{Pol_{jp}}$$

con la fibra haciendo uso del método de DH, también se usa Pol_{jp} para jugo de prensa.

El gráfico de la figura 3 muestra una relación lineal inversa entre ambas variables.

El análisis de residuos permitió identificar a 5 valores atípicos y no se observaron puntos con alta influencia en las estimaciones de los parámetros del modelo (tabla 6).

El modelo ajustado muestra que el término correspondiente a la fibra en caña determinada por DH es estadísticamente significativo con un nivel de confianza del 95,0 % (tabla 7).

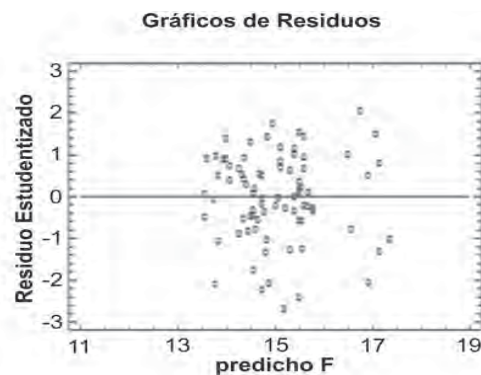
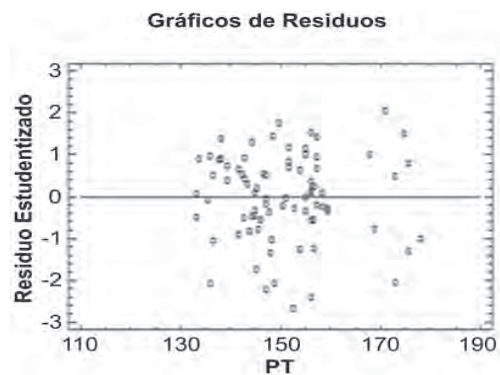


Figura 1. Gráficos de residuos.

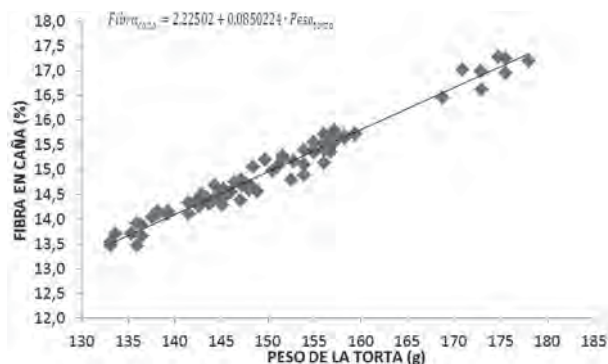


Figura 2. Modelo de regresión ajustado.

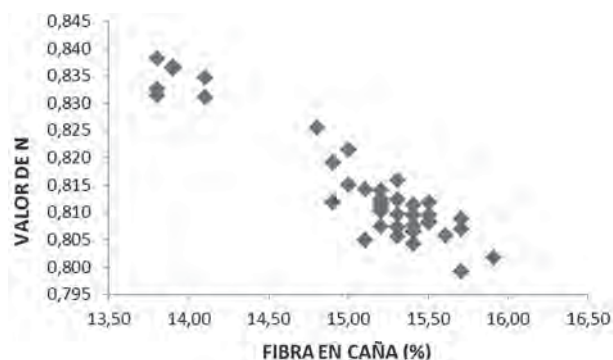


Figura 3. Relación lineal inversa.

Tabla 6. Residuos atípicos

Fila	Y	Y predicha	Residuo	Residuo Estuden.
41	0,800	0,812	-0,0122	-3,04
16	0,815	0,806	0,0095	2,53
37	0,825	0,816	0,0090	2,53
22	0,805	0,814	-0,0088	-2,63
34	0,798	0,805	-0,0072	-2,29

Tabla 7. Resultados del modelo para N

Parámetro	Estimación	Error Estándar	Estadístico T	Valor-P
Constante	1,067	0,0130	81,524	0,000
Fibra	-0,0167	0,0009	-19,314	0,000

Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0,05, existe una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95,0 %. El modelo es capaz de explicar el 90,5 % de la variabilidad de los datos de fibra en caña con un error estándar de las estimaciones igual a 0,003. Esto significa que en promedio los valores de la razón N predichos por el modelo se diferencian en 0,003 unidades de los valores observados.

La prueba de Durbin-Watson (DW) para determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en el que se presentan los datos dio no significativa (valor-P > 0,05), no hay indicación de una auto correlación serial en los residuos con un nivel de confianza del 95,0 %.

Los gráficos de los residuos del modelo muestran que todos sus valores se distribuyen aleatoriamente sobre la línea horizontal por lo que no hay necesidad de incorporarle otros términos al modelo. Los residuos no revelan falta de homogeneidad en la varianza de los datos (figura 4). Por lo tanto, el modelo propuesto es igualmente preciso en todo el rango de variación de las variables.

El modelo queda definido mediante la siguiente ecuación:

$$N = 1,06708 - 0,0167386 \cdot Fibra_{caña} \quad (5)$$

Luego la $Pol_{caña}$ puede ser determinada a través de:

$$Pol_{caña} = N \cdot Pol_{jp} \quad (6)$$

Las ecuaciones 4, 5 y 6 ofrecen un nuevo modelo que permite determinar la $Pol_{caña}$ a partir de la medición del peso de la torta húmeda obtenida por el método prensa.

Validación de los resultados del modelo

El modelo dado por las ecuaciones 4, 5 y 6 fue sometido a una prueba de validación en el contexto de 3 variedades de caña y se ratificó su notable exactitud y superioridad

Tabla 9. Valores promedios de Pol en caña obtenidos por diferentes métodos

Variedad y edad	Muestras	$Pol_{Caña}^{DH}$ (%)	$Pol_{Caña}^{MACU}$ (%)	$Pol_{Caña}^{NF}$ (%)	RSD_{MACU}^{DH} (%)	RSD_{NF}^{DH} (%)
CP-5243. 11 meses	20	13,39	13,62	13,43	0,24	0,05
C90-469. 10 meses	14	14,31	14,52	14,32	0,23	0,03
Caña sonda Central Rabí	12	11,89	12,05	11,88	0,17	0,03

respecto a las ecuaciones del MACU. Se cumple que para las 3 variedades analizadas los valores de desviación estándar residual (RSD_{NF}^{DH})

entre el DH y la nueva variante propuesta (tabla 5) es menor que cuando se comparan las expresiones actuales del MACU con el DH (RSD_{MACU}^{DH})

CONCLUSIONES

1. Se evaluó la exactitud de las determinaciones de

los componentes de la caña por el método prensa y se concluyó que podría ser mejorada.

2. La metodología estadística utilizada permitió obtener nuevas expresiones para la determinación de los componentes de la caña (fibra y pol) por el método prensa que resultan más exactas que las actualmente contenidas en el MACU, luego de compararse ambas variantes con los resultados de la aplicación del método de desintegración húmeda usado como referencia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Sanfiel, F., Fernández, F. (2006). Métodos Analíticos para Azúcar Crudo. Publicaciones Azucareras. Ciudad de La Habana. Cuba.
 2. Alfonso, M.; *et al.* (2016). Informe de etapa 2 del proyecto FONCI/ ICIDCA Evaluación de la recuperación de azúcar en el proceso y pago de la caña mediante estándares de alta eficiencia en el cálculo de "RPC meta. 10 páginas.
 3. Wright, P. G. (2005). Process Benchmarking in Cane Sugar Factories. Proc. Aust. Soc. Sugar Cane Technol., 27: 437-453.
 4. Sanauallah, (2013). An Alternative Method for Determination of Fibre % Cane. Proc. Aust. Soc. Sugar Cane Technol., 28 1-5.
 5. Rein, P. (2007). Cane Sugar Engineering. Verlag Dr. Albert Bartens, Berlin, 768.
-

Evaluación de tratamientos térmicos en una planta de producción de alimentos

Eduardo Hernández-Ramos^{1*}, Mayda Moya-Guerra², José A. Suárez-Morales³

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

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

* eduardo.hernandez@icidca.azcuba.cu

2. Empresa productora de alimentos Prodal.

27 de Nov. No. 9 e/ Benito Anido y Litoral. Regla. La Habana, Cuba.

3. Universidad Tecnológica de La Habana, José Antonio Echeverría.

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

RESUMEN

La empresa Prodal produce y comercializa una amplia variedad de productos alimenticios de pollo, pavo y pescado. Los productos son agrupados en conformados, embutidos y congelados. En la Unidad Empresarial de Base de Embutidos se puso en marcha en diciembre de 2015 una planta de producción de salchichas envasadas al vacío, única de su tipo en Cuba. Actualmente se desconoce si otros tratamientos térmicos en las operaciones de horneado y pasteurización diferentes a los que se están aplicando, garantizarían la obtención de un producto inocuo, aceptable sensorial y nutricionalmente, que sea comercializable y competitivo en el mercado. Por lo que este trabajo tuvo como objetivo general evaluar tratamientos térmicos, para lo cual se realizó un diseño factorial de experimentos que combinó los tratamientos de ambas operaciones: tres en el horno (TMO 4, TMO 5 y H1) y dos en la pasteurización (agua de calentamiento a 80 y 85 °C). Los productos obtenidos fueron evaluados tomando en consideración criterios sensoriales, nutritivos y económicos. En la operación de horneado fue seleccionado como mejor tratamiento el TMO 5, que consiste en cocción con vapor saturado y temperatura de la cámara 80 °C durante 40 minutos. En la operación de pasteurización el mejor tratamiento fue la pasteurización en agua a 85 °C durante 26 minutos. Este trabajo le brinda a la empresa una herramienta para lograr un producto con mayor calidad sensorial e inocuidad y aumentar la competitividad en el mercado.

Palabras clave: tratamientos térmicos, inocuo, pasteurización, horneado.

ABSTRACT

Prodal Enterprise produces and commercializes a wide variety of food products made out of chicken, turkey and fish. These products are divided in three types "Shaped", "Sausages" and "Frozen". On December, 2015 the Sausages Production Unit (SPU) set in motion a Vacuum Packed Plant for Sausages, which is unique in Cuba. Nowadays it is unknown if thermal treatment for baking and pasteurization, different from the ones actually applied, would guaranteed an innocuous product with good nutritional and tasteful properties, besides being competitive in market. For this reason, this research had the main objective of evaluating thermal treatment through an experimental design that combined treatments of both operations: Three processes on the oven (TMO 4, TMO 5 and H1) and two on the pasteurization (Heating Water up to 80 °C and 85 °C). Final products were evaluated according to sensorial, nutritive and economic criteria. During baking operation, the TMO 5 was selected as the best treatment, which consists in baking with saturated steam at 80 °C on the chamber for 40 minutes. Throughout the pasteurization procedure the best treatment was water pasteurization at 85 °C for 20 minutes. This research offers the SPU a tool to achieve products having a more sensorial and innocuous quality, and also to increase competitiveness in the international market.

Key words: heat treatments, innocuous, pasteurization, baking.

INTRODUCCIÓN

La empresa Prodal, situada en el municipio Regla, La Habana, tiene como objeto social la producción de alimentos elaborados a partir de materias primas cárnicas de aves, pescado y mariscos, mezclados con ingredientes alimenticios. Posee una variada gama de productos embutidos, conformados, frescos y congelados, elaborados en cuatro Unidades Empresariales de Base productivas (UEB). Estos productos son distribuidos en una extensa red de sectores de mercado, tanto en moneda nacional como convertible.

En la UEB productora de embutidos se elaboran jamonadas, chorizos, mortadellas, picadillos, jamones y salchichas. Para la elaboración de salchichas se construyó una planta con capacidad superior a las 15 toneladas diarias para satisfacer la demanda de este producto en el país y sustituir las importaciones del mismo desde países como Canadá y Brasil. La principal diferencia de este producto respecto a los similares importados es que se comercializa fresco, pues se hornea, pasteuriza y refrigera, a diferencia de los importados, los cuales son por lo general congelados.

En la planta de salchicha, los especialistas tienen la tarea de obtener un producto con un valor nutricional, sensorial e inocuidad que obtenga la aceptación del pueblo y que pueda competir con otros productos similares existentes en el mercado, por lo que es fundamental definir en cada etapa los parámetros de operación que garanticen la mayor calidad del producto.

Las operaciones tecnológicas que determinan las características antes mencionadas son la cocción y la pasteurización. El incremento de la temperatura en la cocción permite la gelificación de los almidones y coagulación de las proteínas, procesos esenciales para la textura del producto y el mejoramiento de la digestibilidad, y también propicia el desarrollo del color, aroma, sabor e inocuidad del producto al eliminarse o reducirse la carga microbiana presente en las materias primas (1).

En la etapa de pasteurización el principal objetivo es garantizar la inocuidad del producto, pues se eliminan o reducen hasta valores seguros los microorganismos que pudieron contaminar al producto en las operaciones de pelado y envase posteriores a la cocción, por lo cual es, además, muy importante el cumplimiento de las normas de higiene y de los parámetros de operación en los puntos críticos.

En ambas operaciones es necesario aplicar conceptos y correlaciones de operaciones unitarias que son usados en la industria azucarera para controlar, diseñar y diagnosticar, entre otras funciones. El azúcar y algunos de sus derivados son alimentos, por lo que muchos temas tratados en este artículo como la

inocuidad tienen una estrecha relación con la industria azucarera de la actualidad.

Dada la importancia de estas etapas en la producción de salchichas, este estudio se enfocará en evaluar tratamientos térmicos que garanticen la inocuidad de los productos y que a su vez permitan obtener un producto con un valor nutricional y sensorial adecuados para aumentar la competitividad del mismo en el mercado nacional.

MATERIALES y MÉTODOS

Se empleó masa de perro caliente elaborada a partir de MDM canadiense marca Olymel. Para las pruebas de pasteurización se utilizaron paquetes de productos elaborados en la planta hasta la operación de envase manual.

La simulación de la operación de horneado se realizó en un horno de la planta de desarrollo, marca Gourmet y modelo 1011. Este horno permite realizar ciclos de cocción con aire caliente a diferentes humedades, cocción a vapor con diferentes porcentajes de saturación y combinaciones de estos medios de calentamiento. El vapor es producido en el horno a partir de una atomización de agua que se evapora en la cámara.

La pasteurización fue realizada en una marmitta, en el interior de la chaqueta hay una resistencia eléctrica sumergida en agua. El modelo es MBM BRESCELLO, producido en Italia. La presión máxima en el interior de la chaqueta es 50 kPa. El volumen de agua empleado fue 0,04 m³.

En ambas operaciones se empleó un termómetro de marca Testo, que mide en un intervalo de temperatura de -40 a 200 °C a través de una varilla de acero inoxidable con una precisión de 0,5 °C. También fue empleado un equipo de procedencia italiana y marca FOODSCAN para determinación de porcentajes de sales, proteínas, grasas, humedad y colágeno.

Propuestas de tratamientos térmicos en la operación de horneado

Se realizó un análisis preliminar para el cual se tomaron como referencias el tratamiento que actualmente se realiza en la planta, criterios para productos horneados abordados en la literatura (2) y el ciclo recomendado por el proveedor de las fundas (3). En cada corrida experimental se hornearon aproximadamente 3 kg de producto, que fueron tomados de la planta.

Las salchichas crudas fueron trasladadas hasta la planta experimental y refrigeradas para mantener la temperatura en el intervalo de 15 a 20°C hasta que el horno estuvo listo, basado en el criterio de que la temperatura al comenzar la cocción no debe

ser muy baja para propiciar un buen desarrollo del color durante el tratamiento térmico (2), además de estandarizar el proceso para garantizar siempre similares niveles de pasteurización. Previamente el producto fue pesado para poder determinar los porcentajes de mermas durante el tratamiento.

En la segunda etapa del estudio se realizaron modificaciones surgidas a partir del análisis de los resultados del estudio inicial. El tiempo de duración del tratamiento no fue fijado de antemano. Se calculó el valor de pasteurización según se iba realizando el tratamiento y se interrumpió este cuando se alcanzó el valor P_0 requerido. Este enfoque es comúnmente empleado en estudios de penetración de calor. Se definieron los siguientes tres tratamientos, en los cuales no se fijó la duración de la etapa de cocción con vapor:

- Tratamiento 6 (TMO-4): secado 20 minutos con aire caliente a 65°C, 50% de humedad, cocción con vapor con 100% de saturación y temperatura de la cámara 78 °C.
- Tratamiento 7 (H1): se mantuvo el tratamiento propuesto por el proveedor. Secado con aire caliente a 60 °C y 50 % de humedad durante 15 minutos, cocción con vapor con 80 % de saturación y temperatura de la cámara 80 °C.
- Tratamiento 8 (TMO-5): cocción a vapor con 100 % de saturación y temperatura de la cámara 76 °C.

Una vez definidos los tratamientos se procedió a realizar la segunda etapa del estudio. Se hicieron tres réplicas de cada tratamiento y en cada una de ellas se midió cada un minuto la temperatura en el centro térmico de una salchicha a la cual se le acopló un termómetro Testo 926. A su vez se registró la temperatura de la cámara en igual intervalo de tiempo, valor que se obtuvo de los registros que el equipo muestra en la pantalla cada 10 segundos. Para cada valor de temperatura se calculó la letalidad y el valor de pasteurización acumulado mediante el método de Patasnik (2,4). De esta manera se pudo interrumpir cada ciclo una vez que se hubo alcanzado el valor de pasteurización deseado, tomando como temperatura de referencia 70 °C.

Se realizó la determinación de porcentajes de proteínas, grasas, sales, colágeno y humedad para determinar si se producían afectaciones al producto.

Propuestas de tratamientos térmicos en la operación de pasteurización

Se definieron tres tratamientos de pasteurización a 80, 85 y 90 °C, con el objetivo de reducir el tiempo actual de duración de la operación. Para calcular el valor de pasteurización se hizo necesario conocer la evolución de la temperatura cada un minuto, pero no fue posible determinarla acoplando un termómetro al producto, debido a que eso implicaba perforar

el paquete y permitir la entrada de agua y aire, lo que falsearía los valores de temperatura. Por lo tanto se decidió utilizar un método indirecto, utilizando los coeficientes convectivos de la película existente entre el medio de calentamiento y la superficie del paquete.

Los coeficientes se emplearon para simular los valores de temperaturas en el centro térmico del paquete, mediante la conducción en estado no estacionario (5). De esta manera fue posible calcular los valores de letalidad y pasteurización.

Cálculo del coeficiente de convección

Se evaluó el número de Rayleigh a partir de las propiedades físicas de la película de líquido, evaluadas para la temperatura media entre la temperatura del agua y la superficie del paquete (6). Se calculó el número de Nusselt mediante las ecuaciones correspondientes a placa vertical y placas horizontales inferior y superior. Se emplearon las ecuaciones de esta manera debido a que cuatros lados del paquete tienen una posición vertical y dos horizontal. La superficie horizontal superior correspondió en casi todos los casos a la superficie transparente del contenedor y la inferior a la litografiada. Los paquetes fueron introducidos en la marmita y la mayoría adoptó la posición descrita anteriormente. Finalmente fueron calculados los coeficientes.

Debido a que la conducción en el paquete se produce en estado no estacionario, la temperatura de la superficie va aumentando y por ende la temperatura de la película de líquido en la superficie del paquete. Por esta razón el coeficiente de convección varía durante el tratamiento. Como solución se calculó el coeficiente tomando como referencia temperaturas de la superficie de 13, 23, 33, 43, 53, 63 y 73 °C, intervalo en el que debe variar la temperatura. Esto se realizó con el objetivo de determinar la variabilidad del coeficiente y evaluar si el promedio en este intervalo es un buen estimador del coeficiente de convección, a partir de que los valores calculados de temperatura sean similares o no a los valores medidos experimentalmente.

Validación experimental del coeficiente de convección y determinación del centro térmico

Para validar los resultados obtenidos se realizó un experimento que consistió en pasteurizar 10 paquetes de manera individual durante 10 minutos a las temperaturas estudiadas de 80, 85 y 90 °C. Se midió la temperatura inicial a un paquete, después de haberlos mantenido en agua a temperatura ambiente hasta que la temperatura del agua se estabilizara, pues la temperatura de los paquetes antes de pasteurizarse es por lo general inferior a 15 °C. El objetivo de este proceder fue poder estimar a través de un paquete la temperatura inicial.

Transcurridos 10 minutos se le midió a cada paquete la temperatura en el centro geométrico y en el centro de la salchicha superior e inferior del centro del paquete. Esto permitió validar los coeficientes calculados y determinar a su vez la ubicación del centro térmico, el cual coincidió con el centro geométrico del paquete.

Fue necesario calcular las propiedades físicas, capacidad térmica específica y conductividad térmica. La densidad del paquete fue calculada mediante un experimento de desplazamiento de volumen de agua.

Para la determinación del centro térmico se realizó una prueba de comparación de medias de las temperaturas medidas al cabo de 10 minutos en las posiciones superior, centro e inferior de cada paquete, para un 95 % de nivel de confianza.

Se realizó el cálculo del tamaño de muestra necesario para determinar que las diez observaciones realizadas para cada temperatura eran suficientes para establecer que las medias de los valores de temperatura medidos en el centro térmico eran buenos estimadores de la temperatura al cabo de los 10 minutos para un nivel de confianza de 95 %.

Simulación de tratamientos de pasteurización

El objetivo de realizar un estudio de pasteurización fue poder determinar el tiempo de calentamiento que garantizara un valor mínimo de 2 minutos, tomando como microorganismo y temperatura de referencia a la *Listeria monocytogenes* y 70 °C, respectivamente (7,8,9,10). Se aplicó el mismo criterio que en el horneado, respecto a garantizar el valor de pasteurización en la etapa de calentamiento. En esta operación el único parámetro limitante de la duración del tratamiento fue el valor de pasteurización, pues el producto fue horneado previamente, por lo que todas las transformaciones necesarias ya tuvieron lugar (4).

Se definieron como temperaturas del medio de calentamiento 80, 85 y 90 °C. Una vez calculados los coeficientes de convección para cada una de ellas, se simuló mediante las ecuaciones de conducción en estado no estacionario y el método de Patasnik, la temperatura y el valor correspondiente de letalidad en cada minuto, para determinar en qué tiempo se alcanzaba el valor de pasteurización mínimo de 2 minutos, tomando como microorganismo de referencia a la *Listeria monocytogenes* y temperaturas iniciales del producto en el centro térmico en el intervalo de 4 a 20 °C.

Para validar los resultados de la simulación se calculó el valor de pasteurización mediante el método de Patasnik a partir de valores de temperatura medidos experimentalmente cada 5 minutos. Se introdujeron 7 paquetes de salchicha en agua a las temperaturas estudiadas y cada 5 minutos se extrajo un paquete, al cual se le midió la temperatura en

el centro térmico, de manera que el último paquete extraído se pasteurizara 35 minutos, que es el tiempo de pasteurización actual. El paquete número 8 fue empleado para medir la temperatura inicial.

Lo más aconsejable sería realizar mediciones en intervalos de 1 minuto o menos y de ser posible emplear equipos de medición que incluso se pueden introducir en el producto y permiten obtener valores de temperaturas y directamente el valor P.

El valor de pasteurización calculado fue comparado con el obtenido a partir de la simulación. Se realizó una réplica del experimento.

Pruebas sensoriales

Se realizó una prueba descriptiva simple con escala ordinal de 5 puntos, para determinar si había diferencias significativas entre los tratamientos. Se realizaron pruebas de comparación de medias con un nivel de confianza de 95 %.

Tuvo como base el perfil de atributos definidos para el producto. Mediante la prueba se evaluaron los atributos aspecto externo, aspecto interno, olor, color, sabor y textura. Se emplearon valores discretos en el intervalo de 1 a 5, de menor a mayor intensidad del atributo. Participaron en total 9 jueces. Las evaluaciones se hicieron en grupos de 5 jueces por día, los cuales evaluaron muestras de 2 experimentos, por lo que la duración de la evaluación sensorial fue 3 días.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El objetivo del análisis preliminar fue determinar el tiempo necesario para alcanzar un valor de pasteurización de 45 minutos (2) y una temperatura en el centro térmico de 72°C, por lo cual los tiempos se fueron modificando según los resultados de experimentos anteriores.

La etapa preliminar se inició con el tratamiento TMO. Al transcurrir ese tiempo en el horno de la planta experimental se obtuvo un nivel de pasteurización insuficiente. Se aumentó el tiempo de cocción con vapor en 10 min, dando lugar al tratamiento TMO 1. Se realizaron dos corridas y en ninguna se alcanzaron los objetivos propuestos para la operación.

Se realizó entonces el tratamiento TMO 2, en el que se empleó solamente vapor y una temperatura en la cámara de 74 °C para alcanzar rápidamente temperaturas a las que corresponden valores altos de letalidad y pasteurización acumulada. En ninguno de los experimentos realizados se alcanzaron los niveles de pasteurización.

En la tabla 1 se muestra un perfil de temperatura con el valor de letalidad que se va alcanzando en el tiempo.

Los resultados mostraron que para obtener el valor de pasteurización necesario se debían alcan-

Tabla 1. Perfil de temperatura vs tiempo tratamiento TMO 5

Tiempo (min)	Temperatura cámara (°C)	Temperatura CT (°C)	Letalidad
1	52	19,2	8,3E-06
2	61	22,4	1,7E-05
3	71	27,4	5,4E-05
4	79	33,4	0,0002
5	79	40,1	0,0010
6	76	46,4	0,0043
7	74	50,9	0,012
8	78	54,6	0,028
9	79	57,8	0,060
10	77	60,9	0,12
11	75	63,2	0,20
12	77	64,5	0,28
13	79	66	0,39
14	78	67,8	0,60
15	76	69,1	0,81
16	74	69,5	0,89
17	77	69,6	0,91
18	79	70,1	1,02
19	78	71	1,25
20	76	71,5	1,41
21	75	71,4	1,38
22	76	71	1,25
23	79	71	1,25
24	79	71,7	1,47
25	77	72,4	1,73
26	76	72,5	1,77
27	75	72	1,58
28	75	71,5	1,41
29	79	71,5	1,41
30	78	72,2	1,65
31	77	72,9	1,94
32	76	72,9	1,94
33	75	72,5	1,77
34	76	71,9	1,54
35	79	71,8	1,51
36	78	72,4	1,73
37	77	72,9	1,9498446
38	76	72,9	1,9498446
39	75	72,5	1,77827941
40	76	71,9	1,548816619
41	79	71,7	1,479108388
42	78	72,5	1,77827941
43	77	73	1,995262315
		Po	45,95295817

zar temperaturas superiores a 70 °C en el centro térmico y realizar una retención para garantizar el valor P_o . Para lograrlo se realizó el tratamiento H1 que consistió en secar el producto 15 min a 60 °C y

cocción a vapor a 80 °C durante 30 min, tal y como lo recomendaba el proveedor de las fundas. Este experimento resultó excesivo, pues en la primera réplica el nivel de pasteurización fue de 68 minutos

y el porcentaje de proteínas una vez cocido el producto fue de 8,6 %, inferior al 11,52 % definido como especificación de calidad en Prodal. A partir de este resultado se realizaron dos réplicas de duración total de 37 minutos manteniendo el tiempo de secado y solo en una de ellas se obtuvo el valor de pasteurización. No obstante, la temperatura inicial del producto y del horno fue mayor en la réplica donde se alcanzó el valor P_o . A pesar de la variabilidad de los resultados este tratamiento garantizó la temperatura en el centro térmico y el nivel de pasteurización fue más cercano al fijado.

El último tratamiento de esta fase exploratoria fue el H1 1, donde se coccionó el producto 30 min con vapor a una temperatura de la cámara de 80 °C, manteniendo la temperatura del H1 y adoptando el criterio de no realizar secado si el producto no va a ser ahumado. Solo se alcanzó el valor de pasteurización en una réplica. No obstante los resultados fueron similares al H1, pero en tiempos inferiores.

Debido a que existió variabilidad en las temperaturas iniciales del producto y el horno se realizó un análisis de correlación, para determinar si esta variación incidió en los valores de pasteurización. No se obtuvieron correlaciones significativas para un nivel de confianza de 95 %.

Al ser los resultados inestables se realizaron modificaciones. Se mantuvo el tratamiento H1 y se definieron nuevos tratamientos:

- TMO 4: fusión de TMO y TMO-1
- TMO 5: fusión de TMO-2 y H1-1

Para cada tratamiento se calculó el tiempo medio de duración y se determinó el tamaño de muestra representativo. Se fijó como error de estimación 2, 3 y 5 minutos para H1, TMO 4 y TMO 5 respectivamente,

partiendo de que para cada tratamiento una disminución de la duración en esos valores garantizaría aún un valor de pasteurización mínimo de 36 minutos.

En la tabla 2 se muestran los resultados obtenidos en la segunda etapa. Se realizaron 4 réplicas.

Los menores tiempos de operación correspondieron al tratamiento H1, seguido del TMO 5 y finalmente el TMO 4. Los mayores valores finales de temperatura se obtuvieron en el H1, TMO 4 y TMO 5 respectivamente. Los porcentajes de proteínas fueron superiores en todos los casos al mínimo exigido. Se apreció, además, buen desarrollo del color y de la textura.

En las figuras 1, 2 y 3 se puede apreciar el comportamiento de las temperaturas en la cámara y en el producto en el tiempo.

En el tratamiento TMO 5 se aprecia un ángulo ascendente mayor que en los tratamientos H1 y TMO 4. El producto estuvo expuesto a una temperatura del medio mayor desde el inicio del tratamiento, debido a que no se realizó la etapa de secado. Esto podría explicar puntualmente los pequeños porcentajes de mermas en algunos ciclos del tratamiento TMO5.

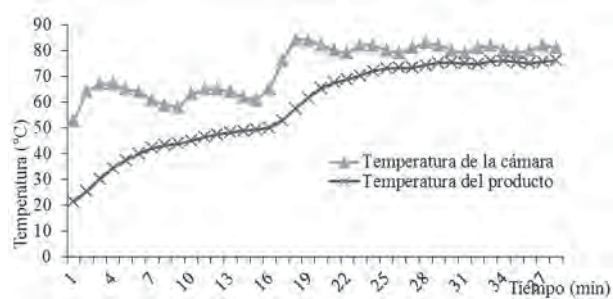


Figura 1. Evolución de la temperatura en ciclo H1.

Tabla 2. Resultados de segunda fase de experimentación en el horno

Tratamiento	P_o (min)	Temperatura inicial producto (°C)	Temperatura inicial horno (°C)	Tiempo de secado (min)	Tiempo de cocción (min)	Tiempo total (min)	Temperatura final producto (°C)
TMO 4	45,6	14,5	30	20	28	48	74,5
TMO 4	45,3	20	29	20	24	44	74,9
TMO 4	45,7	20,7	50	20	22	42	74,9
TMO 4	45,04	18,1	30	20	24	44	74,1
H1	49,04	19,2	30	15	23	38	76,2
H1	45,9	15,8	30	15	21	36	76,3
H1	47,7	20,8	33	15	22	37	76,2
H1	46,6	19,1	48	15	20	35	76,1
TMO 5	45,9	18,3	30	-*c	43	43	73
TMO 5	46,2	18,3	30	-	40	40	73,1
TMO 5	46,4	21,2	46	-	36	36	73,4
TMO 5	45,22	18,3	30	-	38	38	72,5

*c: no se realizó la etapa

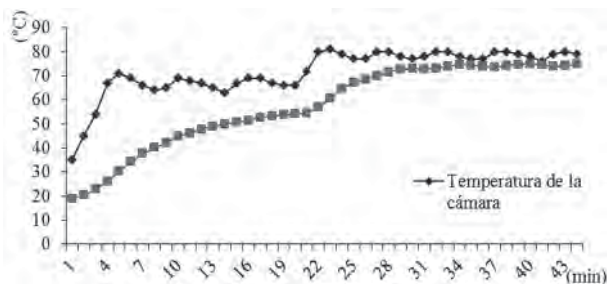


Figura 2. Evolución de la temperatura del ciclo TMO 4.

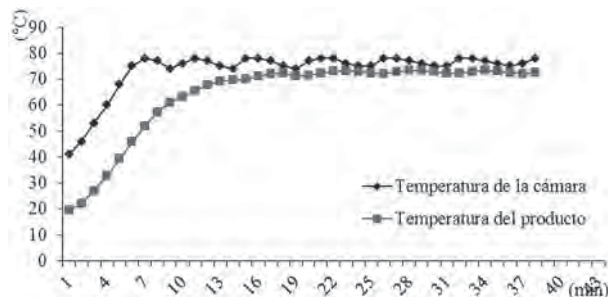


Figura 3. Evolución de la temperatura del ciclo TMO 5.

No obstante se realizó una prueba de comparación de medias de las mermas entre tratamientos y se obtuvo un valor p de 0,0652, lo que indicó que no hay diferencias significativas entre las mermas. También se realizó la prueba Kruskal Wallis para comparación de medianas y los resultados fueron similares. El p valor fue 0,19 por lo que se corroboró que los valores de mermas obtenidos no indicaron diferencias significativas.

Cálculo del coeficiente de convección en la marmita

Los coeficientes de transferencia de calor fueron empleados para la determinación del perfil de temperatura que se debe desarrollar en el producto y el

valor de pasteurización asociado a este. Los resultados se muestran en la tabla 3.

El comportamiento de los coeficientes es lógico ya que disminuyen al aumentar la temperatura y el coeficiente de la superficie superior es el menor de todos ya que el paquete de salchicha tendía a tener la superficie transparente (superior) contraria a la fuente de calor (fondo del tanque), la marmita trabaja a régimen laminar, por lo que las corrientes convectivas rodeaban el paquete, menos a la cara superior (11).

Determinación del centro térmico y validación experimental del coeficiente de convección

Como estos valores de coeficientes fueron calculados por ecuaciones empíricas se procedió a validar los resultados a través de un experimento que consistió en introducir un paquete durante 10 minutos en agua a temperatura de 80 y 85 °C. Fue necesario primero determinar el centro térmico del paquete.

Se realizó un análisis de varianza para cada temperatura del medio de calentamiento, donde se analizó si existían diferencias significativas entre las temperaturas medias de cada posición en el paquete. Los p valores para 80 y 85 °C fueron 0,0 y 0,0001, menores que α igual 0,05 para un nivel de confianza de 95 %, lo que indicó diferencias significativas entre las temperaturas medias medidas en cada posición.

Se realizó una prueba de Múltiples Rangos que permitió determinar que para temperatura del agua igual a 80 °C la temperatura media fue menor en el centro geométrico del paquete. Indicó además, diferencias significativas entre las filas superior e inferior, siendo mayor en la inferior. Para agua a 85 °C la menor temperatura media correspondió también al centro geométrico y no existió diferencia significativa entre las filas superior e inferior. Por lo tanto se concluyó que el centro térmico coincide con el centro

Tabla 3. Coeficientes de transferencia de calor

Temperatura superficie del producto (°C)	Temperatura 80 °C			Temperatura 85 °C		
	h lados (W/m ² K)	h superficie superior (W/m ² K)	h superficie inferior (W/m ² K)	h lados (W/m ² K)	h superficie superior (W/m ² K)	h superficie inferior (W/m ² K)
13	1124	567	1403	1106	591	1168
23	1125	570	1410	1106	595	1170
33	1112	567	1395	1092	593	1160
43	1083	555	1354	1062	584	1135
53	1033	532	1276	1007	565	1093
63	948	490	1141	913	531	1023
73	781	405	883	715,3	470	903
Media	1029	527	1266	1000	561	1093
Desviación estándar	126	60	194	143	46	99

geométrico del paquete, en el punto de unión de las salchichas del medio de las filas superior e inferior.

Una vez determinado el centro térmico se procedió a comparar los valores de temperaturas medidos experimentalmente con los calculados mediante las ecuaciones de conducción en estado no estacionario.

Para cada temperatura del agua se realizaron pruebas de comparación de medias entre las diferencias obtenidas a partir del empleo de los coeficientes menores y mayores en la superficie horizontal del paquete. Los p valores para 80 y 85 °C fueron de 0,25 y 0,23 respectivamente, lo que indicó que

Tabla 4. Diferencias entre temperaturas medidas experimentalmente y calculadas con coeficiente de convección menor en superficie horizontal para 80 °C

Medición	Temperatura calculada (°C)	Temperatura experimental (°C)	Error (%)
1	43,5	45,3	3,9
2	43,4	45	3,4
3	43,3	49,4	12,3
4	43,3	45	3,7
5	43,2	44,7	3,2
6	40,2	46,7	13,8
7	40,4	43,9	8,0
8	40,6	46,8	13,0
9	40,8	43,3	5,7
10	40,8	43,9	6,9

Tabla 5. Simulación de los tiempos y temperaturas de pasteurización

Temperatura inicial (°C)	Temperatura 80 °C			Temperatura 85 °C		
	P ₀ (min)	Temperatura CT (°C)	Tiempo (min)	P ₀ (min)	Temperatura CT (°C)	Tiempo (min)
4	2,13	67,56	30	2,38	69,5	27
5	2,26	68,67	30	2,55	69,7	27
6	2,39	68,82	30	2,73	68,89	27
7	2,53	68,97	30	2,93	70,08	27
8	2,67	68,12	30	2,05	69,06	26
9	2,03	68,38	29	2,2	69,27	26
10	2,16	68,54	29	2,37	69,48	26
11	2,3	68,71	29	2,55	69,68	26
12	2,44	68,87	29	2,75	69,89	26
13	2,6	69,03	29	2,96	70,1	26
14	2,76	69,2	29	2,09	69,1	25
15	2,12	68,48	28	2,26	69,33	25
16	2,27	68,65	28	2,45	69,55	25
17	2,42	68,83	28	2,66	69,78	25
18	2,59	69,01	28	2,88	70	25
19	2,77	69,19	28	2,05	69,03	24
20	2,14	68,48	27	2,23	69,27	24

CT: centro térmico

para un nivel de confianza de 95 % no hubo diferencias significativas asociadas al uso de los coeficientes en la superficie horizontal mayor y menor. No obstante se empleó el coeficiente mayor debido a que las medias de las diferencias y las desviaciones estándar son menores.

Simulación de tratamientos de pasteurización

Una vez calculados los coeficientes de convección se realizó una simulación del proceso de pasteurización a partir del cálculo de la temperatura en el centro térmico cada un minuto. Esto permitió obtener un perfil de temperatura y valores de letalidad y determinar el tiempo de pasteurización necesario para garantizar un valor de P₀ igual a 2 minutos, o sea, un tratamiento equivalente a haber pasteurizado el producto en agua a 70 °C durante dos minutos.

La temperatura de 90 °C fue eliminada del estudio porque los paquetes se abrieron por el área de sellado, debido a la expansión del producto. Se midieron los porcentos de proteínas, grasas, sales, colágeno y humedad antes y después de los tratamientos para determinar si existían afectaciones. No se apreció afectación en el producto.

La simulación se realizó para 80 y 85 °C y temperaturas iniciales del producto en el intervalo de 4 a 20 °C. En la tabla 5 se muestran los resultados y se puede observar que el nivel de pasteurización para siete reducciones decimales de *Listeria monocytogenes* se alcanza en un período de tiempo de 27 a 30 minutos cuando la temperatura del medio es 80 °C

y de 24 a 27 minutos para 85 °C. Esto indicó preliminarmente que la temperatura de 85 °C es mejor desde el punto de vista de que se logra la letalidad deseada en un menor tiempo, lo cual es conveniente para incrementar la productividad de la planta.

Para proponer el tiempo de pasteurización fue necesario conocer el comportamiento de la temperatura inicial del producto. Se hicieron 100 observaciones en 3 días en diferentes horarios de la jornada laboral. Se midió

la temperatura de las salchichas que eran rechazadas en el envase por defectos. De las operaciones de envase y termoformado a la pasteurización solo transcurre un minuto aproximadamente, por lo que se consideró la temperatura medida en estas operaciones como la temperatura inicial del producto en la pasteurización. Además, las temperaturas en el área son inferiores a 20 °C. El límite central fue de 13,92 °C, siendo 12,65 °C y 15,18 °C los límites inferior y superior respectivamente.

Para validar estos resultados los valores medidos se compararon con los calculados mediante las ecuaciones de conducción en estado no estacionario para los mismos intervalos de tiempo. Los resultados para 80 °C son mostrados en la tabla 6.

A partir de los valores medidos experimentalmente se hizo una simulación de posibles valores de temperatura entre los valores extremos de los intervalos de 5 minutos para tener 35 valores de letalidad como si se hubiera medido en un paquete cada un minuto.

La comparación permitió validar los resultados obtenidos mediante la simulación. Los mayores porcentajes de errores correspondieron a la temperatura del agua de 80 °C, pero fueron inferiores al 10 %, por lo que se consideró que la simulación es eficaz para la determinación del P_o cuando no se pueden realizar mediciones experimentales (tabla 7).

Tomando como temperatura inicial del producto el límite inferior del gráfico de control (12 °C), se definieron los siguientes regímenes de pasteurización:

Tabla 6. Validación de tratamiento de pasteurización a 80 °C

Tiempo (min)	Temperatura calculada (°C)	Temperatura real (°C)	Error (%)
5	20,26	20,4	0,67
10	35,68	37,3	4,34
15	48,40	46,7	3,66
20	58,01	59	1,67
25	65,0	63,4	2,53
30	69,91	67,5	3,58
35	73,28	70,9	3,36

- Pasteurización en agua a 80 °C durante 29 minutos.
- Pasteurización en agua a 85 °C durante 26 minutos.

Diseño de experimento

Se realizó un experimento que combinó ambas operaciones. Para la operación de horneado se definieron tres niveles: H1, TMO 4 y TMO 5. En la pasteurización se definieron 2: pasteurización en agua a 80 y 85 °C. En la tabla 8 se muestran los experimentos realizados.

Tabla 8. Experimentos del diseño factorial

No.	Horneado	Pasteurización
1	H1	85 °C
2	H1	80 °C
3	TMO 4	85 °C
4	TMO 5	85 °C
5	TMO 5	80 °C
6	TMO 4	80 °C

A los productos obtenidos se les realizó una prueba descriptiva simple con escala ordinal de 5 puntos para determinar si había diferencias significativas entre las variantes de tratamientos y las combinaciones de ellos.

Pruebas sensoriales

Los jueces asignaron una puntuación a la que corresponde una calificación cualitativa del producto de rechazable, aceptable, bueno, muy bueno y excelente. Para cada tratamiento en el horno los jueces dieron las mismas puntuaciones a las dos variantes de pasteurización, lo que indicó que no se percibieron diferencias asociadas al régimen de pasteurización.

En la tabla 9 se resumen las puntuaciones promedio para cada tratamiento.

Como se observa los jueces dieron las mismas puntuaciones a las dos variantes de pasteurización, lo que indicó que no se percibieron diferencias asociadas al régimen de pasteurización.

Tabla 7. Validación de simulación de variables tiempo y P_o

Temp. del agua (°C)	Temp. inicial (°C)	Temp (CT) cálculo (°C)	Temp (CT) exp* (°C)	Tiempo cálculo (min)	Tiempo exp. (min)	P_o cálculo (min)	P_o exp. (min)	Error tiempo (%)	Error temp. (%)
80	13,2	69,09	66,68	29	31	2,6	2,49	6,90	3,49
80	15	68,53	66,4	28	30	2,12	2,17	7,14	3,11
85	14,4	69,1	68,7	25	26	2,09	2,71	4,00	0,58
85	13,7	69,1	70,1	25	25	2,09	2,7	0,00	1,45

*: experimento

Tabla 9. Resultados de evaluación sensorial

Código	Horneado	Pasteurización	Promedio	Calificación
271	H1	80 °C	4	Muy bueno
991	H1	85 °C	4	Muy bueno
236	TMO 4	80 °C	3,86	Muy bueno
422	TMO 4	85 °C	3,86	Muy bueno
386	TMO 5	80 °C	4,06	Muy bueno
671	TMO 5	85 °C	4,06	Muy bueno

Se realizó una prueba de comparación de medias entre las 10 observaciones de cada tratamiento en el horno. Se obtuvo un p valor de 0,0001 para un nivel de confianza de 95 %, lo que indicó la existencia de diferencias significativas. La prueba de Múltiples Rangos mostró que las diferencias fueron significativas entre el tratamiento TMO 4 y los dos restantes. No se establecieron diferencias significativas entre H1 y TMO 5. A pesar de ser evaluados todos los productos como muy buenos, el tratamiento TMO 4 fue el que menos gustó a los jueces del panel sensorial.

Debido a que se presumía que la mayor influencia de la variedad de tratamientos se percibiría en la textura, se hizo una prueba de comparación de medias para este atributo. El p valor para un nivel de confianza de 95 % fue 0,001, lo que indicó diferencias significativas. La prueba de múltiples rangos mostró que la textura del tratamiento TMO 5 gustó más a los jueces que la obtenida mediante H 1 y TMO 4.

A partir de las pruebas realizadas se concluyó preliminarmente que desde el punto de vista sensorial la mejor variante fue el tratamiento TMO 5 (cocción con vapor de 100 % de saturación y temperatura de la cámara 76 °C).

CONCLUSIONES

1. Se determinó que los tratamientos en la operación de horneado que garantizaron el cumplimiento de los criterios tecnológicos, nutritivos y de pasteurización, tomando como referencia al D-Streptococo, fueron TMO 4, H1 y TMO 5.
2. Se determinó que la pasteurización a 80 y 85 °C durante 29 y 26 minutos respectivamente garantizó un valor de pasteurización de 2 minutos (7 reducciones decimales), tomando como referencia a la *Listeria monocytogenes*, sin afectaciones a las propiedades nutritivas y sensoriales.
3. Se definió, a partir de los resultados de la evaluación sensorial, nutricional y económica, que los mejores tratamientos térmicos son el TMO 5 en la operación de horneado y la pasteurización a 85 °C. La duración total de los tratamientos es 66 minutos, por lo que se redujo en cinco minutos la duración de los tratamientos actuales, la cual es de 71 minutos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ramaswamy, M. Food Processing Principles and Applications. Taylor & Francis Group L, editor. North and South America. 2006.
2. Mella, R.M.; Santos, R.; Yanez, J.; Volumen, S.; Pacheco, D. Conservación de productos cárnicos por calor La Habana: Instituto de investigaciones para la industria alimenticia. 2004.
3. Viscofan. Ciclos de cocción. In: Corporate V, editor. 2016.
4. Holdsworth, D.; Simpson, R. Thermal processing of packaged foods. second ed. Barbosa GV-C, editor. Washington State University. 2008.
5. Incropera, P.F.; De Witt, P.D. Fundamentos de transferencia de calor 4 ed. 1999.
6. Corporation C. Thermodynamic and Transport Properties of Water and Steam. USA. 1999.
7. Murphy, Y.R.; Duncan, K.H.; Driscoll, H.K.; Breard, L.B.; Berrang, B.M.; Macy, A.J. Determination of thermal lethality of *Listeria monocytogenes* in fully cooked chicken breast fillets and strips during postcook in package pasteurization Food Protection. 2003.
8. Evans, M.; Swaminathan, B.; Graves, L.; Altermann, E.; Klaenhammer, T.; Fink, R. *et al.* Genetic Markers Unique to *Listeria monocytogenes* Serotype 4b differentiate epidemic clone II (Hot Dog Outbreak Strains) from other lineages. Environmental microbiology. 2004.
9. López, V.; Suarez, M. *Listeria monocytogenes* en alimentos: ¿son todos los aislamientos igual de virulentos? Revista Argentina de microbiología. 2006.
10. Melara, A. D. Evaluación del efecto de empaque y temperatura de almacenamiento en la supervivencia de *Listeria monocytogenes* en salchichas artesanales [Maestría en microbiología e inocuidad de alimentos]. El Salvador: Universidad del Salvador. 2014.
11. Kern, Q.D. Procesos de Transferencia de Calor. 31, editor. México. 1999.

Caracterización físico-química de alcohol etílico fino de una destilería cubana

Arlyn Reyes-Linares*, Magdalena Lorenzo-Izquierdo, Dacelis Borroto-Mato, Nancy Herrera-Marrero, Silvia Mato-Pérez

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

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

* arlyn.reyes@icidca.azcuba.cu

RESUMEN

En este trabajo se presenta la caracterización físico-química realizada a diferentes lotes de alcohol etílico fino en una de las Destilerías del Grupo Empresarial Azucarero (Azcuba), producto final obtenido del proceso de rectificación y que se emplea como materia prima para la producción de bebidas destiladas, en la industria de perfumería y la farmacéutica. Se realizaron los ensayos de grado alcohólico, acidez total, tiempo de permanganato y componentes volátiles mayoritarios, según las normas cubanas. Los resultados obtenidos se graficaron y compararon con los requisitos que establece la norma NC 792: 2015.

Palabras clave: alcohol etílico, destilerías, bebidas destiladas.

ABSTRACT

This paper presents the physical-chemical characterization of different lots of fine ethyl alcohol from one of the distilleries of the Sugar Enterprise Group (AZCUBA), the final product obtained from the process of rectification and used as raw material for the production of beverages distilled, in the perfumery and pharmaceutical industry. Tests of alcoholic strength, total acidity, permanganate time and majority volatile components were carried out, according to Cuban standards. The results obtained were plotted and compared with the requirements established by norm NC 792: 2015.

Key words: ethyl alcohol, distilleries, beverages distilled.

INTRODUCCIÓN

El ron es una de las bebidas destiladas más universal, ya que se produce en varios países. En sus características químicas y sensoriales influyen de forma notable las materias primas que se utilizan en su elaboración, la fermentación alcohólica, el sistema de destilación, el añejamiento y la formulación (1).

La calidad del ron cubano está estrechamente relacionada con las propiedades del alcohol y el aguardiente que se mezclan para su preparación. Este último es la materia prima que aporta las características fundamentales de composición y sensoriales del ron, ya que se trata de un alcohol no rectificado y puede tener una riqueza alcohólica muy variada.

Según la norma cubana NC 289: 2009 (2), el alcohol fino para bebidas es el alcohol obtenido de mieles o jugo de caña de azúcar o materias primas

amiláceas, rectificado de forma tal que no aporte a los productos en que se emplea otro componente químico que no sea el alcohol etílico. En este caso su calidad, dependerá fundamentalmente del sistema de destilación y rectificación que se utilice.

En la fermentación alcohólica son producidos junto con el etanol, muchos compuestos denominados mayoritarios. Entre estos, algunos de los más importantes resultan los alcoholes superiores: 1-propanol, isobutanol, 2-metil-1-butanol e isoamílico, separados en las columnas rectificadoras en forma de aceite de fusel (3).

El alcohol etílico fino para ser comercializado en el mercado nacional e internacional debe cumplir los siguientes requisitos físico-químicos, según describe la norma NC 792: 2015 (4).

- Contenido alcohólico (mínimo): 95,5 % v/v a 20 °C
- Acidez total (máximo): 15 mg de ácido acético/ L de AA

- Tiempo de permanganato: > 30 min.
- Aldehídos (máximo): 12 mg de acetaldehído/L de AA
- Ésteres (máximo): 35 mg de acetato de etilo/L de AA
- Alcoholes superiores (máximo): 55 mg de alcoholes superiores/L de AA

En este trabajo se presenta la caracterización físico-química realizada a diferentes lotes de alcohol etílico fino de una de las Destilerías del Grupo Empresarial Azucarero (Azcuba), producto final obtenido del proceso de rectificación y que se emplea como materia prima para la producción de bebidas destiladas, en la industria de perfumería y la farmacéutica.

MATERIALES y MÉTODOS

Muestras de alcohol fino de diferentes lotes producidos durante el año 2016 se recibieron en el Laboratorio de Alcoholes y Bebidas (LABEB), envasadas y selladas en frascos de 1000 ml. Los métodos de ensayos realizados corresponden a las normas cubanas NC 291:2011 (5), NC 508:2011 (6), NC 706:2010 (7), y NC 790:2010 (8).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 1 se pueden observar los resultados del ensayo de grado alcohólico por densimetría digital. De las muestras analizadas, solamente dos de ellas presentan un contenido alcohólico por debajo de 95,5, valor mínimo, según lo establecido para el alcohol etílico fino en la norma NC 792: 2015 (4).



Figura 1. Contenido alcohólico.

En la figura 2 se observan los resultados del ensayo de acidez total, donde las muestras analizadas presentan valores por debajo de 15 que es el valor máximo, según lo establecido para el alcohol etílico fino en la norma NC 792: 2015 (4).

La figura 3 refleja los resultados del ensayo de tiempo de permanganato realizado a las muestras.

Según los requisitos físico-químicos establecidos para el alcohol etílico fino en la norma NC 792:2015 (4), seis de las muestras no cumplen dichos requisitos, ya que presentan valores por debajo de 30 minutos.

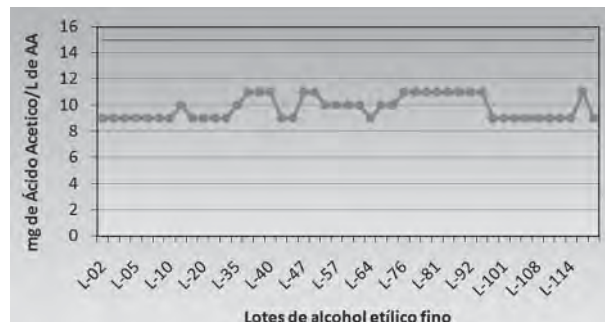


Figura 2. Acidez total.



Figura 3. Tiempo de permanganato.

Los alcoholes superiores se producen mayoritariamente a partir de aminoácidos aromáticos y de cadena ramificada a través de vías metabólicas. En la figura 4 se pueden observar los resultados obtenidos de los alcoholes superiores (1-propanol, isobutanol, isoamílico y 2-metil-1-butanol).

Para el alcohol etílico fino, según la norma NC 792:2015 (4), el valor máximo es 55 mg de alcoholes superiores/L de AA, aspecto que no se cumple en gran parte de las muestras analizadas.

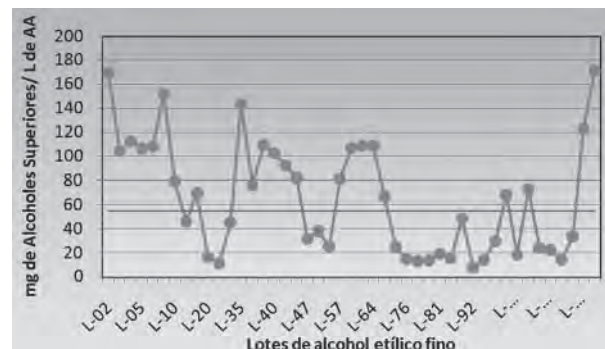


Figura 4. Alcoholes superiores.

CONCLUSIONES

Se caracterizaron los lotes de alcohol etílico fino en una de las destilerías de Azcuba, correspondiente a la producción del año 2016. De las muestras analizadas, dos de ellas presentaron el contenido alcohólico por debajo del valor mínimo establecido, seis de las muestras no cumplen el requisito en relación al ensayo de tiempo de permanganato y gran parte de las muestras no cumplen con el requisito de los alcoholes superiores.

RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta que los alcoholes finos analizados son destinados en su gran mayoría para la producción de bebidas destiladas (Ron y Vodka) y que una gran parte de los rones se destinan para la exportación y ventas en fronteras, se sugiere realizar un estudio similar donde se caracterice la materia prima utilizada para la obtención de los alcoholes finos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Pérez, J.; Delgado, R. 2007. Bebidas alcohólicas destiladas y añejadas. Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia, La Habana.
 2. NC 289: 2009. Bebidas alcohólicas. Vocabulario. Cuba.
 3. Estévez, R. 2014. Manual Tecnológico Industria Alcohólica Cubana. Vol: 7 Fermentación. La Habana, Cuba: ICIDCA.pp.40.
 4. NC 792: 2015. Alcohol etílico. Requisitos. Cuba.
 5. NC-291. 2003. Determinación de acidez total en bebidas alcohólicas destiladas, vinos, licores, bebidas alcohólicas preparadas y cocteles. Cuba
 6. NC-508. 2011. Bebidas alcohólicas-Determinación de componentes volátiles mayoritarios en bebidas alcohólicas destiladas, aguardientes y alcohol etílico por cromatografía gas-líquido. Cuba.
 7. NC 706: 2010. Alcohol etílico. Determinación del tiempo de permanganato. Cuba.
 8. 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.
-



Análisis de alternativas para la rehabilitación de la destilería “Héctor Molina”

Daniela Cosme-Díaz¹, Lourdes Zumalacárregui-de-Cárdenas^{1*}, Osney Pérez-Ones¹, Indira Pérez-Bermúdez²

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

* lourdes@quimica.cujae.edu.cu

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

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

RESUMEN

Se proponen tres alternativas para aumentar la producción de etanol en la destilería Héctor Molina. En la primera se utiliza jugo de los filtros como principal materia prima en el tiempo de no zafra, con un sistema de enfriamiento en fermentación y dos nuevas columnas de destilación. En la segunda se incluye un turbogenerador y en la tercera se adiciona una torre de enfriamiento en destilación. Además, se presentan otras cuatro alternativas para el tratamiento de las vinazas: una planta de biogás, una planta de torula y los procesos de concentración e incineración y concentración y desalinización. Las alternativas son económicamente factibles, pero considerando el impacto medioambiental se seleccionó la alternativa que incluye todos los cambios tecnológicos evaluados y la concentración e incineración para el tratamiento de las vinazas. Con esta alternativa se obtuvo un VAN de \$ 1 946 364,72, una TIR de 21,74 % y un RVAN de 0,22 \$/\$.

Palabras clave: etanol, materias primas, evaluación económica.

ABSTRACT

Three alternatives are proposed to increase the ethanol production of the distillery Hector Molina using juice from the filters as the main raw material in the non-harvest time, implementing a cooling system in fermentation and installing two new distillation columns. In the second alternative, a turbogenerator is included, while in the third, a cooling tower is added in the distillation step. In addition, four other alternatives for the treatment of vinasses are presented, such as a biogas plant, a torula plant, and concentration and incineration and concentration and desalination processes. All the alternatives are economically feasible. Taking into account the environmental impact, the alternative including the technological changes proposed, with the concentration and incineration for the treatment of vinasse is selected. With this alternative, a NPV of \$ 1 946 364.72, an IRR of 21.74 % are obtained and a RVAN of 0.22 \$/\$.

Key words: ethanol, raw material, economical assessment.

INTRODUCCIÓN

Para la obtención de etanol se pueden emplear tres tipos fundamentales de materias primas: materiales celulósicos (residuos agrícolas, maderas); materiales con alto contenido de almidón (maíz, trigo, yuca) y materiales con alto contenido de azúcar (caña de azúcar y remolacha). En Cuba, se utilizan como materias primas en la producción de etanol los materiales con alto contenido de azúcar, fundamentalmente la miel final (1).

Las mieles finales rinden aproximadamente el 2,5 y 3 % de la caña molida y se acerca al 25 % de la sacarosa producida. La composición de las mieles no es uniforme, y está influenciada por diferentes factores como: tipo de suelo, aplicación de fertilizantes, métodos de cosecha, y las especificidades propias del proceso en cada fábrica (2).

Actualmente el uso de los jugos en la producción de etanol constituye una práctica actual de los grandes productores del alcohol, entre los que se destaca Brasil (3). En la destilería “Heriberto Duquesne”

en Villa Clara, durante el final de zafra del 2005, se adaptó la mitad de la sala de fermentación para el trabajo con jugos y miel y la otra mitad solo con mieles. Quedaron demostradas las bondades del jugo como material para la producción de etanol, además de los otros beneficios que, en calidad de azúcar, sobrante de bagazo, calidad de mieles, sobrante de vapor y ahorros de agua, se lograron (4-5).

La industria alcoholera genera altos volúmenes de vinazas que resultan perjudiciales al medio ambiente. La corriente de vinazas es un efluente con un alto poder contaminante que requiere de un tratamiento previo antes de su vertido (6). En el mundo existen diferentes tipos de tratamientos y entre los más utilizados se encuentran: la producción de levadura torula, de biogás, de compost, concentración para la formulación de piensos, como fertilizante, entre otros. En los países productores de azúcar donde se destilan las mieles, los efluentes pueden ser una valiosa fuente de energía, abono o alimento para el productor de alcohol etílico (7). Su alto contenido en agua, sales, materias orgánicas, proteínas y levaduras permite valorar diferentes alternativas de aprovechamiento y a su vez tratamiento del residual.

El Grupo Empresarial Azcuba se encuentra inmerso en el programa de rehabilitación y modernización de la industria alcoholera. Este programa persigue el empleo de jugos en la producción de etanol, así como lograr el incremento de la eficiencia de fermentación y el rendimiento alcohólico en las destilerías de Cuba. Las destilerías cubanas se caracterizan por tener bajas eficiencias de fermentación (75 % - 78 %) y grado alcohólico (4,5 % - 5,5 % v/v) en fermentación (8), si se comparan con los valores que se reportan internacionalmente, que son superiores a 90 % y 8 % v/v, respectivamente (9).

En el programa alcoholero del Grupo Empresarial Azcuba se prevé realizar un proceso inversionista para la ampliación de capacidad de la destilería "Héctor Molina", la que tiene una capacidad de producción de 450 hl/d y cuenta con un central azucareño anexo con una molienda potencial de 4 800 t/d y 150 días de zafra. El tiempo de operación de la destilería es de 188 días lo que representa 84 600 hl/año. Para este aumento de capacidad se trasladará de la destilería "Melanio Hernández", un módulo adicional de destilación comprendido por dos columnas de destilación y equipos de trasiego de corrientes intermedias. Además, se importará el equipamiento necesario para el bombeo de la miel y los jugos, el enfriamiento y acondicionamiento del jugo, así como el enfriamiento en los fermentadores. Esta alternativa, así como el empleo de mezclas de jugo de los filtros y secundarios con miel para producir etanol se evaluaron recientemente resultando económicamente atractivas a la vez que permite mejorar la calidad del azúcar producido (10).

El siguiente trabajo está enfocado al análisis de alternativas para la rehabilitación de la destilería. Se analizaron siete alternativas para producir etanol a partir de materias primas combinadas con el objetivo de obtener mejoras económicas, productivas y ambientales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo de los cálculos se utilizó un simulador en Microsoft Excel, conocido como SIDEL, desarrollado en el ICIDCA, en el que se ejecutaron los balances de masa y energía asociados a la producción de etanol. Para la comparación de las alternativas se utilizó un caso base, correspondiente al esquema de producción actual de la destilería.

Caso base: Esquema actual de producción en la destilería "Héctor Molina"

En la tabla 1 se muestran las condiciones de operación según el esquema actual de la fábrica (11). Se emplea como materia prima el 100 % de miel B para producir 450 hl/d de etanol durante 150 días.

Alternativas propuestas

Se evaluaron siete alternativas para la producción de etanol, tres teniendo en cuenta modificaciones en la base tecnológica de la fábrica y el empleo de miel B y jugo de los filtros y cuatro que incorporan variantes para el tratamiento de las vinazas producidas.

Alternativa 1: Aumento de la capacidad de producción de la destilería a 700 hl/d, utilizando jugo de los filtros como principal materia prima en el tiempo de zafra y almacenándose la miel B sobrante para el resto de los días de operación. Se implementa un sistema de enfriamiento en fermentación, con el objetivo de elevar el grado alcohólico en la batición (4). Además, se realizan las inversiones correspondientes para la adquisición de dos nuevas columnas, una destiladora con rehervidor y una rectificadora, las cuales sustituirán las existentes actualmente.

Alternativa 2: Se mantienen los cambios realizados en la alternativa 1 y se incorpora un turbogenerador con el objetivo del autoabastecimiento eléctrico de la destilería.

Alternativa 3: Se agrega a las modificaciones de la alternativa 2 una torre de enfriamiento en el área de destilación con el objetivo de disminuir el consumo de agua en la destilería, debido a que actualmente el agua se extrae de un pozo, y al no existir un sistema cerrado de enfriamiento no se recircula dicha agua.

Tabla 1. Datos de entrada para la solución del caso base

Capacidad del central (t/d)	4 800	Grado alcohólico de la batición (°GL)	5
Capacidad de destilería (l/d)	45 000	Grado alcohólico final (°GL)	95
Tiempo fermentación (h)	18	Pérdidas en fondaje (%)	0,5
Tiempo pre-fermentación (h)	12	Eficiencia de fermentación (%)	78,15
Volumen útil fermentador (m ³)	130	Eficiencia de destilación (%)	95,0
Volumen útil pre-fermentador (m ³)	23	DQO vinazas (kg/m ³)	47,88
Número de fermentadores	10	DBO vinazas (kg/m ³)	23,94
Número de pre-fermentadores	3	Presión de trabajo (kPa)	135,7
°Brix en pre-fermentador	12	Extracción de cabezas (%)	8
°Brix de la miel	83	Extracción de fusel (%)	7
°Brix final fermentación	3	Relación de reflujo	1,6
°Brix vinazas	7	Viscosidad del vino (mPas)	0,982
Azúcares fermentables totales (AFT) en miel	58	Índice de consumo de miel 52 % AFT (kg/l)	3,8
Sólidos insolubles (%)	1,5	Sólidos insolubles miel (%)	5,0
Grado alcohólico en el tope (°GL)	60	Diferencia de temperatura del agua (°C)	13
Temperatura entrada a columna (°C)	67	Temperatura final de fermentación (°C)	36

Alternativa 4: Se mantienen las modificaciones de la alternativa 3 y se incorpora un sistema de tratamiento de vinazas por digestión anaerobia.

Alternativa 5: Se mantienen las modificaciones de la alternativa 3 y se incorpora una planta de producción de levadura torula a partir de las vinazas.

Alternativa 6: Se mantienen las modificaciones de la alternativa 3 y se incorpora como tratamiento la concentración e incineración de vinazas.

Alternativa 7: Se mantienen las modificaciones de la alternativa 3 y se incorpora como tratamiento la concentración y desalinización de vinazas.

Los indicadores que se utilizaron para la comparación de las tres alternativas en que se realizan modificaciones tecnológicas son: flujo de miel (m³/hl); flujo de jugo (m³/hl); flujo de vinazas (m³/hl); flujo de agua de dilución de mieles (kg/h); consumo de agua en la destilería (m³/hl) y generación de CO₂ en la fermentación (kg/h).

Para la evaluación económica de las alternativas se estableció el cálculo fundamentado en el método del flujo de caja, evaluando las diferencias entre cada alternativa y el caso base. Como se realizó un análisis de modificación, sólo se tienen en cuenta los cambios que cada alternativa determina en cada uno de los elementos del flujo de efectivo con respecto al caso base. Por lo anterior, se trabajó con las diferencias y no se tomó en cuenta lo que se relaciona con la tecnología o equipamiento anterior. Se tuvieron en cuenta como consideraciones: una tasa impositiva de 35 %, una tasa de interés de 12 %, un tiempo de vida útil de la planta de 20 años y un horizonte de planeación de 5 años.

Para el cálculo del costo de inversión total, la inversión industrial se concibió sólo para el aumento

de capacidad de la destilería de 450 hl/d a 700 hl/d y está referida a los gastos de la adquisición del equipamiento necesario para el traslado, almacenamiento y enfriamiento del jugo de los filtros, la reposición del módulo de destilación-rectificación, el sistema de enfriamiento en fermentación y destilación, así como otros equipos auxiliares necesarios en el proceso. Para las alternativas 4, 5, 6 y 7 se suma al costo de inversión de la alternativa 3, los correspondientes a los sistemas de tratamiento de vinazas.

Para el cálculo de los ingresos y egresos se utilizaron los precios y costos del año 2017 reportados por el grupo Azcuba (11), que se muestran en la tabla 2, para cada una de las variantes según corresponda.

Tabla 2. Precios y costos utilizados

Producto	Valor
Precio de comercialización del etanol (\$/hl)	361,46
Precio de la miel B (\$/t)	31,90
Precio del jugo de los filtros (\$/m ³)	87,00
Precio del agua (\$/m ³)	0,25
Costo producción de la electricidad generada (\$/kW.h)	0,09
Precio del petróleo (\$/t)	264,90

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis del caso base. Esquema actual de producción de la destilería “Héctor Molina”

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 3. Se obtuvo un alto flujo de vinazas (34 932 kg/h),

Tabla 3. Indicadores técnicos obtenidos en el caso base

Indicadores	Valor
Flujo de miel (kg/h)	7 200
Flujo de vinazas (kg/h)	34 932
Flujo de agua de dilución de mieles (m ³ /h)	24,05
Flujo de vapor en la columna destiladora (kg/h)	6 098,44
Consumo de agua en la destilería (m ³ /hl)	6,05
Generación de CO ₂ en fermentación (kg/h)	1 424,2

lo que representa un índice de generación de vinazas de 18,83 l vinaza/l etanol. El incremento de este indicador muestra su origen en los aspectos fermentativos, o sea, en el bajo grado alcohólico que implica mayor consumo de vapor y por tanto mayor volumen de vinazas, con el consiguiente impacto ambiental negativo por su alto flujo, elevada carga orgánica (47,88 kg/m³) y alta temperatura (12). Este residual tan contaminante y otros que se derivan de este proceso como el agua de lavado de los fermentadores, agua de enfriamiento de los condensadores, agua de limpieza de los equipos, etc. se descargan a una zanja que conduce al mar. Desde el punto de vista medio ambiental esto tiene un impacto negativo pues afecta directamente al ecosistema. Por esta razón se requiere buscar una alternativa de tratamiento que permita reducir el nivel contaminante de este residual.

El alto consumo específico de agua en la destilería de 6,05 m³/hl, está dado entre otros factores por un alto consumo de agua de enfriamiento en destilación de 3,6 m³/hl, el cual está condicionado por la no existencia de un sistema cerrado de enfriamiento, que permita recircular el agua utilizada.

La generación de CO₂ es de 1 424,2 kg/h en el proceso de fermentación que, al no recuperarse en esta destilería, se considera este producto un residual de la fabricación de etanol y reconocido como un contaminante del medio ambiente. En este caso, el impacto ambiental negativo que ocasiona su generación se equilibra mediante el balance de CO₂ en la agricultura cañera al participar en la fotosíntesis de la planta. Se plantea que se obtienen 0,956 kg de

CO₂ por kg de etanol producido (13) el que utiliza la planta en la fotosíntesis para su crecimiento y formación de azúcares; por lo que en este caso el balance neto de la producción de etanol resulta beneficioso para el medio ambiente en términos de CO₂ y O₂ pues retira mayor cantidad de CO₂ de la que incorpora y a la vez restituye O₂.

Análisis de las alternativas que no incluyen tratamiento de vinazas

En la tabla 4 se presentan los indicadores técnicos para las tres alternativas analizadas que no conllevan tratamiento de vinazas.

La utilización de materias primas combinadas (jugo de los filtros y miel) permite que la destilería opere 67 días adicionales debido a la miel B sobrante. Al incorporarse el jugo de los filtros en el proceso fermentativo, como es una corriente rica en azúcares se reduce el consumo de miel B ya que solamente se utiliza como complemento nutricional para el crecimiento de la levadura en los procesos de propagación y prefermentación.

En estas alternativas se contempla que al aumentar la capacidad de la destilería desde 450 hasta 700 hl/d, aumenta tanto el consumo de vapor en la columna destiladora desde 6 098,44 kg/h hasta 8 911,93 kg/h, así como la generación de CO₂, lo que representa un efecto indeseable, debido al impacto de su emisión para el medio ambiente.

La incorporación del turbogenerador en la alternativa 2 permite la producción de una potencia eléctrica de 0,68 MW. Al incorporarse el turbogenerador al área de generación de vapor los indicadores a analizar no se modifican en relación con la alternativa 1, debido a que dicha incorporación solo influye en el autoabastecimiento de la destilería, lo que repercute en la disminución del costo de producción.

Al sustituir la columna destiladora, incorporando una nueva con rehervidor, disminuye el flujo de vinazas en un 22 %, con un índice de generación de vinazas de 9,52 l vinaza/l etanol para las tres alternativas. Al generador de vapor se recirculan los condensados obtenidos a la salida del rehervidor de fondo de la columna destiladora por ser lo suficientemente puros, con lo que disminuye el consu-

Tabla 4. Indicadores técnicos para las alternativas sin tratamiento de vinazas

Indicadores	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Flujo de jugo (m ³ /h)	27,30	27,30	27,30
Flujo de miel (m ³ /h)	2,00	2,00	2,00
Flujo de vinazas (kg/h)	27 443	27 443	27 443
Flujo de agua de dilución de mieles (m ³ /h)	2,00	2,00	2,00
Flujo de vapor en la columna destiladora (kg/h)	8 911,93	8 911,93	8 911,93
Consumo de agua en la destilería/hl de etanol (m ³ /hl)	4,20	4,20	0,13
Generación de CO ₂ en fermentación (kg/h)	2 206,00	2 206,00	2 206,00

mo de agua tratada de alimentación a la caldera en un 30,5 % para las alternativas 1 y 2.

La incorporación del sistema de enfriamiento cerrado en la alternativa 3, con la instalación de una torre de enfriamiento de una capacidad de 80 m³ y considerando que el agua de reposición es del 3 %, reduce el índice de consumo de agua desde 4,2 m³/hl hasta 0,13 m³/hl. Esta disminución repercute en el costo de producción.

Análisis de las alternativas que incluyen tratamiento de vinazas

Como se presentó en el caso base, la destilería tiene un alto índice de generación de vinazas por lo que es necesario encontrar una solución ambiental para dichos residuales.

Alternativa 4: Configuración de la alternativa 3 con tratamiento de vinazas por digestión anaerobia

En esta alternativa se realiza el tratamiento del residual mediante la digestión anaerobia en un reactor anaerobio de cama de lodos, más conocido por sus siglas en inglés como UASB (*Up-flow Anaerobic Sludge Blanket*), obteniendo como efluentes biogás, lodo y un residual líquido o vinazas tratadas.

El biogás que se obtiene es un combustible en forma de gas rico en metano, que se almacena en el gasómetro (o comprimido y almacenado en un tanque a presión) y se emplea como gas doméstico, como combustible para la caldera y para la generación de electricidad (14-15).

En la tabla 5 se muestran los resultados de los efluentes de la digestión anaerobia.

Tabla 5. Resultados de los efluentes obtenidos del reactor UASB

Producto final	Cantidad
Biogás (m ³ CH ₄ /d)	21 912
Lodo (m ³ /d)	6,75
Efluente líquido (m ³ /d)	973,2
DQO del efluente líquido (kg/m ³)	19,16

Con la digestión anaerobia se logra tratar las vinazas disminuyendo la carga orgánica (DQO) en un 60 % con respecto a la DQO del residual obtenido en la destilería (47,88 kg/m³). No obstante, este valor requiere de un pos-tratamiento al efluente líquido a la salida del reactor para disminuir la carga orgánica contaminante.

Alternativa 5: Configuración de la alternativa 3 con obtención de levadura torula

En Cuba, la producción de levadura forrajera, a partir de vinazas, resulta particularmente atractiva, sobre todo si se tiene en cuenta la imposibilidad de

contar con proteínas vegetales de bajo costo, tales como la soja.

En este sentido, la estrategia trazada por el grupo empresarial Azcuba es el uso de las vinazas como materias primas en esta producción. Esta estrategia está encaminada a no solo disminuir el valor contaminante de las vinazas sino a aumentar su valor agregado (14).

Los principales resultados de la aplicación de este tratamiento a la vinaza se pueden observar en la tabla 6. Teniendo en cuenta que la producción de levadura sería de 13 t/d se puede instalar una fábrica de levadura torula con capacidad para 15 t/d.

Tabla 6. Resultados de la obtención de levadura torula

Producto final	Cantidad
Producción de levadura torula (t/d)	13
Residuales de torula generados (t/d)	1 893

Alternativa 6: Configuración de la alternativa 3 con concentración e incineración de vinazas

Otra posibilidad que tiene la destilería para el tratamiento de los residuales es la concentración e incineración de las vinazas. Las sales obtenidas en el proceso de incineración de las vinazas, ricas en potasio, se pueden almacenar para ser utilizadas como fertilizante en la agricultura cañera. Además, la energía del vapor que se genera en la etapa de concentración, se convierte en electricidad luego de que se alimente a un turbogenerador. La electricidad se puede utilizar para satisfacer la demanda de la fábrica y el resto venderla a la red nacional (16).

En este caso de tratamiento de las vinazas el sistema consta de las etapas de evaporación, incineración y generación de electricidad. Las vinazas se concentran desde 7 °Bx hasta 60 °Bx, obteniendo 112,62 t/d de vinazas concentradas que se utilizarán como combustible en la caldera generándose de 10-12 t/h de vapor. Este vapor pasa a un turbogenerador produciendo 1 490 kW.h de electricidad.

El vapor del último efecto de flujo 300,84 t/d y temperatura 107 °C se usa para alimentar el fondo de la columna de destilación, la que consume 281,74 t/d obteniéndose un ahorro de petróleo. El resto del vapor se empleará en la destilería para la esterilización, la limpieza del área de fermentación u otros usos.

Las sales obtenidas en el proceso de incineración de las vinazas, ricas en potasio, 17,63 t/d, se almacenarán para ser utilizadas como fertilizante en la agricultura cañera.

La concentración y combustión de las vinazas de destilerías es una tecnología limpia ya que se logra un aprovechamiento integral de este efluente y no

se obtienen residuales. En la tabla 7 se resumen los resultados principales.

Tabla 7. Resultados del proceso de concentración e incineración de vinazas

Producto final	Cantidad
Vinazas concentradas (t/d)	112,62
Vapor (t/d)	10-12
Electricidad (kW.h)	1 490
Sales ricas en potasio (t/d)	17,63

Tabla 8. Cantidad de sales y efluente líquido del proceso de desalinización de vinazas

Producto final	Cantidad
Alimento animal (t/d)	155,04
Sales (t/d)	20,88

Alternativa 7: Configuración de la alternativa 3 con concentración y desalinización de vinazas

El análisis de la desalinización de vinazas se realiza con el objetivo de implementar un tratamiento a este residual, además por los beneficios económicos que se obtendrían por la comercialización de las corrientes finales del proceso. En este caso se obtuvo el flujo de los dos productos finales, tanto el efluente líquido para su uso como alimento animal como las sales para utilizarlas como fertilizantes. Los valores determinados en esta alternativa para su evaluación se muestran en la tabla 8.

Costos de inversión y ganancias brutas para cada alternativa

En la tabla 9 se presentan los costos de inversión requeridos para cada alternativa, así como las ganancias brutas que se obtendrían.

Indicadores económicos seleccionados para la evaluación

Para el análisis de la inversión se obtuvieron los indicadores de rentabilidad: valor actualizado neto (VAN), tasa interna de rendimiento (TIR), período de recuperación de la inversión con descuento (PRI) y relación VAN/Inversión (RVAN), que se presentan en la tabla 10.

En la tabla 10 se observa que las alternativas son factibles económicamente, obteniéndose los mayores beneficios en la alternativa 5 al tener el mayor VAN. En todos los casos la TIR presenta valores

Tabla 9. Costos de inversión y ganancias brutas

Alternativa	Costo de inversión total (\$)	Ganancia bruta (\$)
Caso base	-	5 816 059
1	4 102 726	8 168 006
2	5 671 822	8 498 392
3	5 927 062	8 498 392
4	7 251 026	9 223 322
5	25 095 786	17 710 319
6	8 683 009	10 228 990
7	7 980 957	9 866 805

por encima de la tasa de interés (12 %) y la inversión se recupera en un tiempo inferior a cinco años, demostrando liquidez. El criterio del RVAN establece el orden de prioridad de implementación. La mejor

Tabla 10. Indicadores económicos

Alternativa	VAN (\$)	TIR (%)	PRI (años)	RVAN (\$/\$)
1	1 460 216,09	27,08	3,87	0,36
2	861 764,57	18,70	4,81	0,15
3	646 810,38	16,85	4,90	0,11
4	1 048 379,21	18,38	4,84	0,14
5	3 775 471,37	18,61	4,80	0,15
6	1 946 364,72	21,74	3,49	0,22
7	1 779 896,37	21,70	3,50	0,21

alternativa es la alternativa 1 pues es la que posee mayor RVAN, pero esta no presenta una propuesta para el tratamiento de vinazas. Sin embargo, la alternativa 6 es la segunda en RVAN e incluye el tratamiento de las vinazas, resultando una alternativa más integradora.

CONCLUSIONES

1. De la caracterización del caso base se concluye que existe un alto índice de generación de vinazas de 18,83 l vinaza/l etanol y un alto consumo específico de agua en la destilería de 6,05 m³/hl fundamentalmente por un alto consumo de agua de enfriamiento en destilación de 3,6 m³/hl.
2. La implantación del esquema de producción donde los jugos de los filtros se emplean para la producción de etanol trae beneficios económicos debido a que se opera durante más días con materias primas propias, aumentando la producción de etanol.
3. Según el análisis económico preliminar todas las alternativas son factibles técnica y econó-

micamente, pero teniendo en cuenta el impacto medioambiental se seleccionó la alternativa 6, la cual además de los cambios tecnológicos realizados propone la concentración e incineración para

el tratamiento de las vinazas. Con esta alternativa se obtuvo un VAN de \$ 1 946 364,72, una TIR de 21,74 % y un RVAN de 0,22 \$/\$.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abril, A. Etanol a partir de biomasa lignocelulósica. Monografía, 2010.
2. Alves, D. Respostas fisiológicas de duas linhagens de *Saccharomyces cerevisiae* frente ao potássio durante a fermentação alcoólica. Tesis de Doctorado. Instituto de Biociências/UNESP, Río Claro. 2000.
3. Otero, M.; García, R.; Saura, G. Producción de bioetanol a partir de mezclas de jugos-melazas de caña de azúcar. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. 2009.
4. Estévez, R.; Saura, G.; Martínez, J. Informe de la evaluación de la extracción de jugo de los filtros y secundarios en el comportamiento de la fábrica de azúcar "Heriberto Duquesne". Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. 2005.
5. Estévez, R. Un aniversario importante de la Industria de los derivados, Notietanol. Enero. 2014.
6. Alonso, D.; Garrido, N.; Pérez, O.; Zumalacárregui, L. Alternativas tecnológicas para reducir el volumen de las vinazas de la industria alcoholera y su tratamiento. Revista Centro Azúcar, 43(1), 70-79, enero-marzo, 2016.
7. Camacho, L. Precipitación de potasio en vinazas resultantes de la producción de etanol con mieles finales de caña de azúcar Tesis de Ingeniería Química. Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría". 2016.
8. Saura, G.; Domenech, F. Desarrollo del programa integrado de producción de alcohol en la industria azucarera. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. 2006.
9. Alonso, D. Evaluación de alternativas de mejoras energéticas y ambientales en la destilería Jesús Rabí Tesis de Maestría. Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría". 2015.
10. Ibáñez, M.; Saura, G.; Pérez, I.; Pérez, O.; Zumalacárregui, L. Análisis de alternativas para la producción de etanol a partir de jugos de los filtros y jugos secundarios. Revista ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar, 52(1): (En prensa), 2018.
11. Grupo Derivados A. Indicaciones del Ministerio de Finanzas y Precios para el Grupo Empresarial AZCUBA. 2017.
12. Alonso, D.; Ramos, S. Informe Técnico. Diagnóstico ambiental a empresa azucarera "Mayabeque" y a la UEB Derivados "Héctor Molina". 2017
13. Zumalacárregui, L.; Pérez, O.; Lombardi, G.; Rodríguez, P. & Zumalacárregui, B. Cálculo del beneficio ambiental de la caña de azúcar para la producción de etanol combustible. Revista Ingeniería Química, 10(1): 65-71, 2008
14. Lorenzo, Y.; Domenech, F.; Eng, F.; Almazán, O.; Chanfón J. Tratamiento industrial de vinazas de destilerías en reactores UASB. Revista Tecnología Química, 35(1): 108-123, enero-abril, 2015.
15. Lorenzo, 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. La Habana. Cuba. 2016.
16. Cortes, E. F.; Asao, N.; Palcios, R.; Ensinas, A.; Nebra, S. Vinasse concentration and juice evaporation system integrated to the conventional ethanol production process from sugarcane. Renewable Energy, 115(4): 474-488, 2017.

Determinación cuantitativa de la concentración del NO₂ disuelto en agua en la síntesis del 2-(2-nitrovinil-furano)

Claudia Lago-Durán^{1*}, María Isabel Díaz-Molina¹, Zenaida Rodríguez-Negrín¹, Irenia Gallardo-Aguilar², Amalia Calvo-Alonso¹

1. Centro de Bioactivos Químicos. Universidad Central de Las Villas. Carretera a Camajuaní Km 5 ½ Santa Clara. CP 54830, Villa Clara, Cuba.

* clduran@uclv.cu

2. Departamento de Ingeniería Química. Facultad de Química Farmacia. Universidad Central de Las Villas. Carretera a Camajuaní Km 5 ½ Santa Clara. CP 54830, Villa Clara, Cuba.

RESUMEN

En el presente trabajo se emplea el método potenciométrico de valoración ácido base para determinar en una solución líquida, la concentración total de ácidos producto de la descomposición del NO₂ (g) que se desprende de la etapa de síntesis del producto intermedio 2(2-nitrovinil-furano). La solución residual líquida que sale por el fondo de la columna de absorción se valoró con reactivo base NaOH. Con este método se obtuvo una concentración promedio de ácido nítrico de $1,3 \times 10^{-3}$ mol/L y una concentración total de ácido de $2,0 \times 10^{-3}$ mol/L. Estos valores indican la eficiencia en el proceso de absorción. Para cuantificar y comprobar la calidad en el ambiente de trabajo se realizaron mediciones de inmisiones del gas NO₂. La concentración promedio medida para el NO₂ (g) fue de 0,04 mg/m³ y el valor de concentración máxima obtenida fue de 0,08 mg/m³, ambos valores cumplieron con los límites admisibles de exposición establecidos en la Norma Cubana NC 872: 2011 y con el tiempo de una hora de exposición establecido en la NC 1020:2014. El resultado indica que no existe contaminación ambiental en el área de trabajo y no se compromete la salud y el desempeño laboral del personal.

Palabras clave: mediciones ambientales de gases, concentración de gases, valoración potenciométrica.

ABSTRACT

In the present work, the potentiometric method of acid-base titration is used to determine in a liquid solution, the total concentration of acids product of the decomposition of NO₂ (g) that is released from the synthesis stage of intermediate 2(2-nitrovinyl-furan). The residual liquid solution leaving the bottom of the absorption column was titrated with NaOH base reagent. With this method, an average nitric acid concentration of $1,3 \times 10^{-3}$ mol/L and a total acid concentration of $2,0 \times 10^{-3}$ mol/L were obtained. These values indicate the efficiency of the absorption process. In order to quantify and verify the quality in the work environment, measurements of NO₂ gas emissions were made. The average concentration measured for NO₂ (g) was 0,04 mg/m³ and the maximum concentration value obtained was 0,08 mg/m³, both values met the admissible exposure limits established in Cuban Standard NC 872 : 2011 and with the time of one hour of exposure established in NC 1020: 2014. The result indicates that there is no environmental contamination in the work area and the health and work performance of the worker is not compromised.

Key words: environmental gas measurements, gas concentration, potentiometric titration.

INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental puede ser entendida como un producto inevitable del progreso, como una consecuencia no deseable del desarrollo industrial

y como resultado de la masiva intervención humana en los ecosistemas (1). La contaminación del aire es actualmente uno de los problemas ambientales más severos a nivel mundial y tienen un potencial significativo en el calentamiento global. Está presente en

todas las sociedades, independientemente del nivel de desarrollo socioeconómico, y constituye un fenómeno que tiene particular incidencia sobre la salud del hombre (1, 2).

Según la definición de la Comisión Nacional del Medio Ambiente, CONAMA, la contaminación atmosférica es la presencia de compuestos gaseosos o partículas, formas de energía calor o vibraciones en cantidades tales, que producen efectos nocivos para la salud del hombre, de los animales, vegetales, los materiales o el clima (3). En referencia a la contaminación del aire por productos de combustión, éstos proceden, entre otras fuentes, de vehículos, humo de cocinas y de tabaco, acompañados de partículas sólidas y gases de CO₂, CO, SO₂ y NO₂ entre otros.

La contaminación gaseosa está compuesta por material particulado (PM), compuestos volátiles y gases como dióxido y monóxido de carbono (CO₂, CO), dióxido de azufre (SO₂), óxido nítrico (N₂O) y otros producidos por procesos industriales (4). Los contaminantes primarios son los que permanecen en la atmósfera tal y como fueron emitidos por la fuente. Para fines de evaluación de la calidad del aire se consideran: óxidos de azufre, monóxido de carbono, óxido de nitrógeno, hidrocarburos y partículas (5).

La principal fuente de NO_x estratosférico son las emisiones de N₂O en la superficie. Se ha pensado que el N₂O es principalmente un constituyente atmosférico natural, pero también se ha examinado la influencia de sus cambios en los cambios a largo plazo en las concentraciones de ozono (6). El nitrógeno es uno de los contaminantes ambientales que más influye en la salud de hombre porque forma multitud de óxidos comunes: óxido de dinitrógeno, N₂O, monóxido de nitrógeno, NO, trióxido de dinitrógeno, N₂O₃, dióxido de nitrógeno, NO₂, tetróxido de dinitrógeno, N₂O₄ y pentóxido de dinitrógeno, N₂O₅ (7).

Las emisiones de N₂O pueden estar asociadas con varios procesos en plantas de tratamiento de aguas residuales, en procesos con reacción química y existe una variación de los flujos de emisión que dependen de muchos parámetros operativos y condiciones ambientales (8).

El monóxido de nitrógeno muestra gran reactividad hacia el dióxígeno, y cuando una muestra de monóxido de nitrógeno incoloro se expone al aire, se forman nubes café-rojizas de dióxido de nitrógeno (9) según la ecuación 1.



Esta molécula es un contaminante atmosférico que por lo común se forma por una reacción colateral de los gases de combustión cuando el dióxígeno y el dinitrógeno se comprimen para obtener el NO gaseoso según la ecuación 2 (9).



En la ecuación 3 se muestra cómo el dióxido de nitrógeno reacciona con agua y produce ácido nítrico y ácido nitroso.



Para la cuantificación de la concentración de los ácidos formados en agua por la descomposición del NO₂ se utiliza el método potenciométrico que se basa en la medida del potencial eléctrico (respecto a una referencia) de un electrodo sumergido en la disolución problema, a partir de la cual es posible establecer la concentración de la misma directa o indirectamente (10).

En la actualidad el avance tecnológico y el abaratamiento de los precios ha permitido que se puedan utilizar potenciómetros de bajo costo y sea posible registrar fácilmente la variación del pH de la disolución al ir añadiendo el agente valorante. La representación del pH frente al volumen adicionado ilustra el proceso de neutralización y permite una estimación muy precisa del punto final de la valoración (11, 12).

La emisión de gases nitrosos en un ambiente de trabajo trae consigo contaminación medioambiental y riesgos prolongados por inmisión para la salud del operario del proceso. Para minimizar la contaminación en el proceso de síntesis del producto intermedio 2(2-nitrovinil-furano) se lleva a cabo un proceso de absorción del gas NO₂ y luego se realiza la medición de los mismos para cuantificar su concentración en agua. El presente trabajo se enfoca en la determinación de la concentración de ácidos en la solución de la corriente residual de la columna de absorción y en la comprobación de los niveles de emisiones con el fin de mejorar la calidad ambiental en el proceso.

MATERIALES y MÉTODOS

Medición de las inmisiones de NO₂ en el ambiente de trabajo

Existen diferentes métodos de captación de NO₂ (g) para muestreo dentro del monitoreo atmosférico, estas metodologías pueden ser divididas en cinco tipos genéricos: muestreadores pasivos, muestreadores activos, analizadores automáticos en línea, sensores remotos y bioindicadores (13).

Para la medición de las inmisiones del gas NO₂ se utiliza un sensor remoto que capta los valores de concentración del gas NO₂ en el ambiente de trabajo. Este mismo procedimiento se realizó en la etapa de síntesis química por parte de varios especialistas (14).

Durante la determinación de las mediciones de NO₂ (g), realizadas en la síntesis se obtuvo una

concentración promedio de $0,088 \text{ mg/m}^3$ y un valor máximo de $1,407 \text{ mg/m}^3$, valores inferiores a la Concentración Promedio Admisible (CPA) y las Concentraciones Máximas Admisibles (CMA) respectivamente, cumpliendo con los Límites Admisibles de Exposición establecidos en el anexo de la norma cubana NC 872: 2011 (15).

Para analizar el cumplimiento de la NC 1020:2014 [16] se graficaron los resultados de las inmisiones de NO_2 (figura 1), obteniéndose una concentración promedio de $0,189 \text{ mg/m}^3$ superior a $0,16 \text{ mg/m}^3$, incumpliendo con los requisitos establecidos en la norma, para una hora de exposición (14)

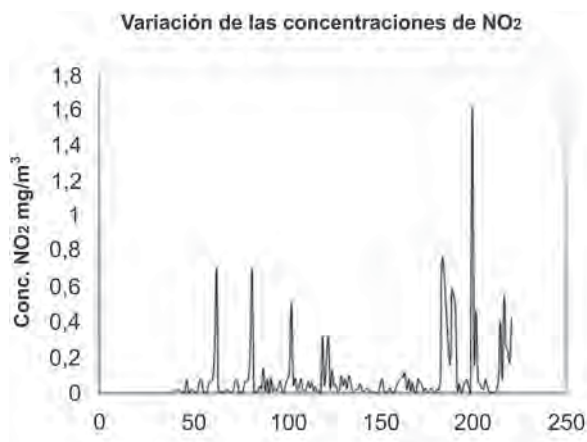


Figura 1. Comportamiento de las inmisiones de NO_2 en el ambiente de trabajo de la síntesis química.

Por la existencia de contaminación en el proceso se procede a comprobar la disolución del gas NO_2 en agua a partir de un muestreo del agua residual de la columna de absorción. Se toman tres alícuotas en frascos ámbar de 500 mL. De cada una de las muestras se toman 25 mL, se le mide el pH inicial y por valoración ácido-base con consumo de NaOH, utilizando el método potenciométrico, se determina la concentración total de ácido disuelta que corresponde con el volumen o punto final de la valoración.

Instrumentos y equipos

pH metro (PHSJ-3F)
Electrodo combinado Calomel y Ag/AgCl
Agitador magnético Retomed (AM.04)
Balanza Analítica Santorius (CP 225D)
Magnetito
Bureta 50 ml

Reactivos

Hidróxido de sodio triturado.
Ácido oxálico hidratado.
Fenolftaleína (indicador) al 1 %.
Agua destilada.

Preparación de la solución

Solución 1 estándar de ácido oxálico dihidrata-

do: se pesan 0,1 g de ácido oxálico dihidratado y se disuelven en agua destilada, enrasándose en un matraz aforado de 250 mL, quedando la solución preparada a una concentración de $0,01 \text{ mol/L}$.

Estandarización del NaOH con $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

La estandarización con ácido oxálico se lleva a cabo mediante valoración con indicador (fenolftaleína al 1 %), utilizando una concentración de NaOH de 10^{-2} mol/L , se pesan 0,06360 g de ácido oxálico para disolver en 100 mL y 0,101 g de NaOH para disolver en 250 mL.

Determinación de la concentración total equivalente de ácidos

Para la determinación de la concentración equivalente de ácido nítrico (ácido fuerte) se trabaja con alícuotas de 50 mL en cada una de las réplicas, se determina y se aplica la ley de la volumetría a partir del resultado de la valoración ácido-base que comprende todas las determinaciones basadas en la reacción: $\text{H}^+ + \text{OH}^- = \text{H}_2\text{O}$. Se determina además la concentración total de ácidos presente en la muestra residual a partir de la determinación del punto final de la valoración tal y como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Determinación por volumetría de la concentración total equivalente de ácido

Nº de réplicas	V(NaOH) añadido mL	C(HNO_3) mol/L	c (total de ácido) mol/L
1	6	0,0012	0,0018
2	6,5	0,0013	0,0020
3	6,5	0,0013	0,0023
Concentración promedio (mol/L)		0,0013	0,0020

Electrodo de referencia para medida de pH

Un electrodo de referencia debe mostrar un potencial estable, constante y reproducible, durante un largo período de tiempo y aún durante el paso de pequeñas cantidades. El electrodo de pH utilizado combina un electrodo de Calomel y un electrodo de referencia interno ($\text{Ag (s)} / \text{AgCl (s)}$) sumergido en un tampón con sales de Cl ($\text{pH} = 7$), con una membrana de vidrio (17).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la valoración ácido-base se reflejan en las figuras 2 y 3. En la figura 2 se muestra la existencia de dos concentraciones diferentes de sustancias ácidas debido a los dos saltos de pH observados. En esta valoración aparece un ácido

fuerte y ácido débil disueltos ambos en la solución residual del proceso de absorción.

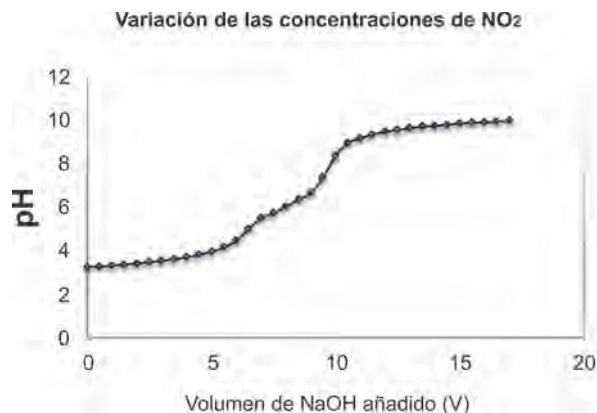


Figura 2. Valoración ácido base con respecto al volumen adicionado (V).

Para la estimación del punto final de la valoración se utiliza el método de la representación de la derivada de pH con respecto al volumen adicionado, ($\Delta\text{pH}/\Delta\text{V}$), este método debe presentar un valor máximo para el punto de inflexión de la curva pH vs V (11, 12). Este método es utilizado para comprobar la existencia de los dos ácidos que aparecen en la muestra residual. En la figura 3 se observan claramente los dos puntos de inflexión correspondientes a los valores máximos de concentración de ambas sustancias.

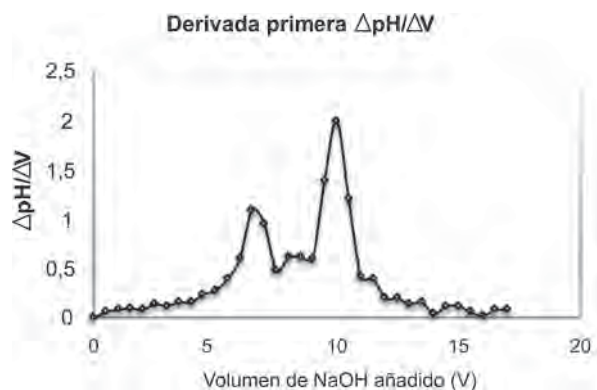


Figura 3. Método de la derivada de pH con respecto al volumen adicionado (V).

Se demuestra con este método cuantitativo de análisis que los gases nitrosos y su concentración en agua, provenientes de la síntesis química del 2-(2-nitrovinil-furano), son absorbidos por la columna rellena empleada, siendo menor la contaminación en el ambiente de trabajo y los niveles de exposición a la atmósfera.

Para comprobar la efectividad de la absorción de los gases en agua se realizan nuevas mediciones del gas NO_2 (18). Estas nuevas mediciones repor-

taron valores inferiores a la Concentración Promedio Admisible (CPA) y las Concentraciones Máximas Admisibles (CMA) respectivamente establecidos en norma cubana NC 872:2011.

Dada la permanencia de los trabajadores en el área de labor, se compararon los resultados obtenidos con la NC 1020:2014 Calidad del aire. Contaminantes. Concentraciones máximas admisibles y valores Guías en zonas habitables. Para ello, se graficaron los valores de las inmisiones, utilizando el Microsoft Office Excel 2007 (figura 4), observándose que se cumple con la Concentración Máxima Admisible (CMA) para una 1 hora de exposición establecida en la referida norma.



Figura 4. Comportamiento de las inmisiones de NO_2 , durante la síntesis química del producto.

CONCLUSIONES

1. El comportamiento de la curva de la primera derivada demostró que hay una tendencia a la aparición de dos ácidos en la corriente residual líquida en el proceso de absorción. Se demostró con este método la presencia de un ácido fuerte y un ácido débil ambos disueltos en agua por la descomposición del gas NO_2 .
2. La determinación de la concentración final de ácidos en la valoración mostró que debido a la absorción del NO_2 (g) en agua hay una menor contaminación en el ambiente de trabajo en el proceso de síntesis por lo que se logró disminuir el efecto de este gas en el ambiente de trabajo.
3. Como resultado de las nuevas mediciones realizadas en el área de trabajo no existe contaminación de dióxido de nitrógeno, en la zona de respiración del trabajador, durante la ejecución de la síntesis del producto intermedio 2(2-nitrovinil-furano) G-0.
4. Al realizar una comparación con estudios similares realizados en el año 2015, existió una disminución significativa en las inmisiones de NO_2 (g), debido a la colocación de la columna de absorción de gases que evita la propagación de los gases nitrosos causantes de la contaminación proveniente de la etapa de síntesis.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Proyecto Empresarial “Mejora continua de los Procesos de Obtención de la Furfural y el Vitrofur” por el apoyo financiero parcial a esta investigación. Código del proyecto:10394,

a los trabajadores del taller de obtención del 2-(2-nitrovinil-furano) y de la Planta de Producción, al Laboratorio de Control de la Calidad, a la Unidad de Aseguramiento de la Calidad y a la máxima dirección del Centro de Bioactivos Químicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Lucas Jacobo, J. ; González, R. Evaluación de la contaminación atmosférica. 2011.
 2. Romero Placeres, M.; Diego Olite, F.; Álvarez Toste, M. La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud. Revista cubana de higiene y epidemiología, 2006. 44(2): p. 0-0.
 3. Chicana Vargas, M.; Chamaya Becerra, F. Evaluación de la concentración de NO₂, SO₂ en el aire y su relación con el perfil epidemiológico en la población de Segunda Jerusalén. 2006.
 4. Manzur, M.E.; Benzal, G.; González, S.N. Modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos. in VII Congreso de Medio Ambiente. 2013.
 5. Escalante, C.; Chávez, R. Calidad del aire en la ciudad de Quito. Red de Monitoreo de la Calidad del Aire en el MDMQ, 2004.
 6. Ravishankara, A.; Daniel, J.S.; Portmann, R.W. Nitrous oxide (N₂O): the dominant ozone-depleting substance emitted in the 21st century. science, 2009. 326(5949): p. 123-125.
 7. CATC, Boletín Técnico Oxidos de Nitrógeno (NOx), ¿Por Qué y Cómo Se Controlan? . 1999, Control y Protección; Environmental Protection Agency
 8. Kampschreur, M.J.; *et al.* Nitrous oxide emission during wastewater treatment. Water research, 2009. 43(17): p. 4093-4103.
 9. Rayner-Canham, G.; Overton, T. Descriptive inorganic chemistry. 2003: Macmillan.
 10. Gómez, J. Titulación potenciométrica. Puerto Ordaz, Venezuela: Universidad Católica Andrés Bello, 2010.
 11. Hernández, A. Valoraciones potenciométricas ácido-base. Granada, España: Universidad de Granada, 2011.
 12. Gran, G. Determination of the equivalence point in potentiometric titrations. Part II. Analyst, 1952. 77(920): p. 661-671.
 13. Rubiano, C. Un Plan de gestión para la prevención y control de la contaminación del aire por BTX (Benceno, Tolueno, Xileno) en el área metropolitana del Valle de Aburrá. 2013, Tesis para optar el grado académico de Magister en Medio Ambiente y Desarrollo]. Medellín: Universidad Nacional Colombia.
 14. GEOCUBA, Informe Técnico: Monitoreo de variables ambientales (ruido y gases) en el Centro de Bioactivos Químicos,. 2015: “Universidad Central de las Villas “Marta Abreu”.
 15. Seguridad y Salud en el Trabajo-Sustancias Nocivas en el Aire de la Zona de Trabajo-Evaluación de la Exposición Laboral-Requisitos Generales. Oficina Nacional de Normalización NC 872:2011.
 16. Calidad del aire- Contaminantes- Concentraciones máximas admisibles y valores. Guías en zonas habitables. Norma Cubana NC1020:2014.
 17. Jaramillo, K.; Guzmán, J.; Vargas, C. Determinación del contenido de ácido acelsalicílico en una tableta de aspirina.
 18. GEOCUBA, Informe Técnico: Monitoreo de variables ambientales (ruido y gases) en el Centro de Bioactivos Químicos,. 2018: “Universidad Central de las Villas “Marta Abreu”.
-

Estudio de pérdidas permisibles en una destilería cubana

Keyla Tortoló-Cabañas^{1*}; Carlos Alberto Garit-Campos²; Roberto Estévez-Baéz¹; Gustavo Saura-Laria¹; Julio Antonio Martínez-Valdivieso-Piloto¹; Indira Pérez- Bermúdez¹

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

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

* keyla.tortolo@icidca.azcuba.cu

2. Destilería Heriberto Dusquene, UEB Heriberto Duquesne, Remedios, Villa Clara, Cuba.

RESUMEN

La cuantificación de las pérdidas permisibles es un proceso muy propio de cada destilería y aunque es muy difícil su eliminación absoluta, si es posible determinarlas y controlarlas para garantizar el adecuado funcionamiento de la empresa. En este trabajo se aplica una metodología basada en la realización de balances diarios de alcohol, en el que intervienen todas las actividades relacionadas con el mismo en la destilería, como son el almacenaje, la producción y el despacho. Dicha metodología determina los factores de desbalances de esas estas operaciones. Los resultados obtenidos se comportan de acuerdo a una distribución normal, con un nivel de confianza de 90 %. Atendiendo a dichos resultados se proponen como valores de fluctuaciones en la entidad objeto de estudio, para el almacenaje un índice de 0,501 %, producción 0,340 %, despacho 0,497 % y como índice general 0,475 %, los cuales deberán ser evaluados anualmente en la entidad para certificar su certeza.

Palabras clave: alcohol, pérdidas permisibles, control de producción.

ABSTRACT

The quantification of process losses is a very important activity for a distillery and even when it is very difficult its complete elimination is possible to determine and control them to guarantee the proper operation of the Enterprise. In this work, a methodology based on daily alcohol balances is applied, in which all the activities related with the distillery such as storage, production and dispatch are taking into account. This methodology also determines the imbalance factors of these operations. The obtained result follows a normal distribution of the values, with a confidence level of 90 %. In accordance with these results, it is proposed a storage index of 0,501 %, production 0,340 %, delivery 0,497 % and general index 0,475 % as fluctuation values in the entity under study which should be evaluated annually to certify their certainly.

Key words: alcohol, losses, production control.

INTRODUCCIÓN

Todas las empresas que cuentan con procesos, independientemente de cuál sea su rubro, presentarán mermas en su sistema, por lo que resulta de vital importancia que cada una de ellas domine donde radican sus pérdidas para mejorar su funcionamiento y

eficiencia. Las mermas no se pueden eliminar completamente pero sí es posible determinarlas y controlarlas, por esta razón deben ser medidas periódicamente para asegurarse de que el funcionamiento de la empresa es adecuado. La cuantificación de las mermas es un proceso muy propio de cada empresa y para esto se debe reconocer la importancia de la

implementación de una metodología para cuantificar las pérdidas permisibles en la entidad y de ser posible reducirlas.

En las destilerías, al trabajar con líquidos volátiles hay que considerar las mermas que se producen, ya sea por evaporación, contracción o dilatación, como ejemplos de fenómenos físico-químicos, así como las características de los recipientes donde se almacenan estos líquidos y las condiciones para dicho almacenamiento.

En este sentido las peculiaridades físicas del alcohol tales como su volatilidad y variación volumétrica (ligadas íntimamente con la temperatura), así como a la variedad en tipos producidos y manipulados, y finalmente a las características de los medios de medición utilizados para su cuantificación; se requiere considerar los mismos en forma apropiada, para poder implementar un estudio que arroje como resultado los niveles de diferencias y mermas de alcohol, que es permisible tolerar en la actividad normal de una destilería (1).

Este estudio se realizó durante la campaña 2016 en una destilería cubana, aplicando una metodología que se basa en la realización de balances diarios de alcohol, en el que intervienen todas las actividades involucradas con el mismo para la entidad, que son: producción, almacenaje y despacho.

MATERIALES y MÉTODOS

Mediciones

Las mediciones se realizan una vez al día por un período no menor de 10 días, tratando de mantener el mismo horario para la actividad. En ese momento se determina puntualmente la temperatura y grado alcohólico de la muestra (1).

Determinación de pérdidas en recipientes de alcohol

Para el caso de los recipientes se consideran tres factores que toman en cuenta aspectos que provocan variaciones en las propiedades del alcohol como son: la geometría del recipiente, la temperatura y las pérdidas por tiempo de almacenamiento.

Factor geométrico (Fg)

Considera la relación geométrica existente entre la superficie de evaporación del recipiente y el volumen de alcohol contenido en el mismo mediante la ecuación:

Ae / VI = 1 / HI Ec.1

Donde:
Ae → Área de evaporación (m²)
VI → Volumen área de evaporación (m³)
HI → Área de evaporación (m)

Factor temperatura (Ft)

Considera la influencia de la temperatura a la que se mantiene el alcohol durante el período evaluado. Está definido por la relación entre la presión de vapor del alcohol a la temperatura media del período de almacenaje con respecto a la que posee el mismo a la temperatura de referencia a 20 °C. Se calcula como:

Ft = Pv / 44 Ec.2

Donde:
Pv → Presión de vapor del alcohol a la temperatura media durante el período de almacenaje expresada en (mm de Hg).

Tabla 1. Factores de pérdidas permisibles por fuga y evaporación de alcohol en función de los períodos de almacenaje

Más de (meses)	No más de (meses)	% - m	Más de (meses)	No más de (meses)	% - m
-	2	0,12544	33	36	0,94080
2	4	0,18816	36	40	1,00352
4	6	0,25088	40	44	1,06624
6	8	0,31360	44	48	1,12896
8	10	0,37632	48	52	1,19168
10	12	0,43904	52	56	1,25440
12	15	0,50176	56	60	1,31712
15	18	0,56448	60	64	1,37984
18	21	0,62720	64	68	1,44256
21	24	0,68992	68	72	1,50528
24	27	0,75264	72	76	1,56800
27	30	0,81536	76	80	1,63072
30	33	0,87808	80	-	1,69344

Factor pérdidas (Fp)

Representa la intensidad normal de las pérdidas para las condiciones de referencia, corregido para el alcohol a 100 % v/v y 20 °C. Se encuentra tabulado en la tabla 1 en función de diferentes períodos de almacenaje (2).

Porcentaje de pérdidas

Considerando la influencia de los factores anteriores, las pérdidas por evaporación se pueden estimar mediante la ecuación:

$$\%P = Fp \times Fg \times Ft \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

%P → Representa el volumen de alcohol a 100 % v/v y 20 °C perdidos por cada 100 volúmenes de alcohol.

Balance general

La ecuación de balance involucrada es la siguiente (1):

$$(\text{Existencia actual} - \text{Existencia anterior}) - (\text{Producción} - \text{Despacho}) = \text{Desbalance} \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

Existencia actual → Representa la existencia medida como hectolitro de alcohol puro que existen ese día, medidos en los recipientes de almacenamiento.

Existencia anterior → Representa la existencia medida como hectolitro de alcohol puro que existía el día anterior, medidos en los recipientes de almacenamiento.

Producción → Representa la existencia medida como hectolitro de alcohol puro que existía el día anterior, medidos en los recipientes de diario almacenamiento.

Despacho → Representa la diferencia entre las existencias y entre la producción y el despacho, expresada en hectolitro de alcohol puro.

Desbalance → Representa el alcohol total despachado y facturado ese día y expresado como hectolitro de alcohol puro.

Con estos datos es posible calcular el factor de desbalance o desbalance relativo que es el resultado del cociente entre el desbalance y la suma de los promedios de existencia, producción y despacho expresado porcentualmente.

Premisas

- Todo el equipamiento empleado para la medición de los volúmenes de alcohol está debidamente calibrado por la autoridad competente, con su definición de incertidumbre y error (termómetros, alcoholímetros, metro contador, varas de nivel, etc.).

- Para que los balances sean consistentes es necesario que toda la gama de alcoholes que maneje la entidad se trabajen a una condición normalizada en grado y temperatura (100 % v/v y 20 °C), según Norma Cubana 290: 2007 (3).
- Todas las tuberías de interconexión entre tanques de producción, almacenaje y despacho permanecen llenas y no son soterradas (4).
- Disponibilidad de certificados metrológicos de aforo para los depósitos de alcohol, con su debido señalamiento en porcentaje de incertidumbre o error relativo en sus mediciones.

Procesamiento de datos

Los resultados obtenidos fueron procesados en el programa Microsoft Excel 2010 y analizados con el programa estadístico STATGRAPHICS centurión.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La cuantificación de las mermas es un proceso que reviste gran importancia y puede facilitar el control de los procesos productivos. En el caso de destilerías que producen y manipulan alcoholes de diferentes variedades resulta necesario considerar, para este estudio, las diversas causas que pueden derivar en pérdidas. En primer lugar se deben reconocer las características físicas del alcohol, tales como su volatilidad y variación volumétrica (ligadas íntimamente con la temperatura), lo que puede favorecer las pérdidas por evaporación. Además si el producto es almacenado en instalaciones defectuosas o inadecuadas y adicionalmente se mantienen en lugares donde su exposición a las condiciones medioambientales atentan contra la debida estabilidad en las mediciones, tributarán a la determinación de resultados erróneos.

Por otra parte se deben considerar las características de los medios de medición así como los errores intrínsecos de toda medición, ya sea por mediciones inadecuadas o por el empleo de métodos incorrectos de trabajo.

Para el empleo de esta metodología los valores medidos originalmente son procesados para corregirlos y adaptarlos a las unidades de medida que para el alcohol se utilizan en Cuba, así como de la corrección necesaria que toma en cuenta la geometría de los recipientes utilizados. La misma se presenta como una alternativa de estimación razonable ante la inexistencia de normas oficiales para dicho objetivo.

La metodología de cálculo elaborada para la determinación de las pérdidas permisibles en una entidad expresa, a partir de bases técnicas, un Índice de variación (\pm) del volumen de alcohol. En dicha metodología están comprendidos los procesos de producción, almacenamiento, despacho y recepción de

Tabla 2. Definición de las decenas empleadas en el estudio y los volúmenes de alcohol manejados en cada decena

Nº decena	Inicio decena	Fin decena	Volumen almacenado (HL)	Volumen producido (HL)	Volumen despacho (HL)	Volumen involucrado (HL)
Primera	08/03/2016	17/03/2016	3764	463	331	4558
Segunda	19/03/2016	28/03/2016	5498	469	186	6153
Tercera	03/04/2016	12/04/2016	5475	426	207	6108
Cuarta	20/04/2016	29/04/2016	6421	423	463	7307
Quinta	04/05/2016	13/05/2016	5702	425	464	6591
Sexta	20/05/2016	20/05/2016	5617	456	327	6400
Séptima	12/06/2016	21/06/2016	1450	373	264	2087
Valores medios			4847	434	320	5601

alcohol, así como toda la gama de alcoholes que se manipulan en la entidad (1). También se toman en cuenta los elementos que colaboran conjuntamente entre las incertidumbres de medición, así como por las mermas por evaporación, que inciden en el valor de dicho coeficiente general.

En este estudio las mediciones se realizaron durante 7 decenas, o sea, 70 días de operación de esta destilería en la campaña 2016, distribuidas en las diferentes épocas del año, tal como se refleja en la tabla 2. Considerándose como una muestra de tiempo representativa y adecuada para este estudio, la que cubre el ámbito operacional a que se enfrenta esta destilería durante una campaña.

Como se observa en la tabla 2, los volúmenes manejados en la actividad normal de una destilería varían entre las decenas, de ahí la importancia de considerar en el estudio varias decenas y distintas épocas del año.

Es de suma importancia determinar el valor de la temperatura promedio, ya que durante el día y la noche, y a través de las distintas épocas del año, este valor varía apreciablemente. También puede variar

en función de si los recipientes se encuentran al aire libre, bajo techo o soterrados, si están pintados o no, etc.

Las inexactitudes en los volúmenes de los tanques, se toman (+/-) un porcentaje de acuerdo a la incertidumbre de las mediciones. Cada tanque dispone de acuerdo a su tamaño, así como al método en que se aforó y se mide, un valor que le es propio y que se establece por metrología. Para que este valor sea oficial es necesario que el depósito posea la debida Certificación de Aforo por la autoridad competente.

La tabla 3 refleja los valores medios de todos los factores calculados en este estudio. A pesar de la aparente variabilidad de los factores obtenidos, el análisis estadístico realizado afirma que la data se ajusta a la de una población de distribución normal, con un 90 % de confianza.

El factor de desbalance o desbalance relativo (designado en la tabla como Factor General) es el resultado del cociente expresado porcentualmente entre el desbalance y la suma de los promedios de existencia, recepción y despacho. El mismo requiere

de la distribución entre los elementos que lo componen, lo que conlleva a representar los demás factores (en la tabla como factor almacenamiento, factor recepción, factor despacho) expresando su incidencia porcentual en el porcentaje total.

El método además utiliza los estimados de error en las mediciones, así como la estimación de pérdidas por

Tabla 3. Resultados de los factores calculados en el estudio

No. decena	Factor general (%)	Factor almacenamiento (%)	Factor producción (%)	Factor despacho (%)
Primera	0,378	0,403	0,226	0,194
Segunda	0,359	0,368	0,237	0,379
Tercera	0,401	0,408	0,230	0,547
Cuarta	0,391	0,400	0,228	0,415
Quinta	0,387	0,394	0,233	0,436
Sexta	0,385	0,397	0,226	0,585
Séptima	0,341	0,355	0,228	0,422
Media	0,377	0,389	0,230	0,425

Tabla 4. Valores medios de los factores con sus límites de confianza

Factores	Media	Límite de confianza superior	Límite de confianza inferior
General (%)	0,377	0,475	0,279
Producción (%)	0,230	0,340	0,119
Almacenaje (%)	0,389	0,501	0,278
Despacho (%)	0,425	0,497	0,354

fugas y evaporación de cada depósito de producción y almacenaje, así como realiza una confrontación por contraste entre mediciones del despacho, para estimar la participación o aporte de cada actividad al desbalance total de alcohol. De estos niveles de error o incertidumbre de cada una de estas actividades se conforman los índices específicos para cada actividad mostrados en la tabla 3.

Las inexactitudes en el despacho se estiman mediante el contraste la confrontación entre los volúmenes que acusan los depósitos aforados que reciben el despacho y los metros contadores de la planta, los cuales a su vez necesitan estar certificados. En caso de no disponer de metros contadores es necesario auxiliarse de algún otro medio, p.ej. pesaje y re-cálculo volumétrico.

En la tabla 4 aparecen los valores medios de todos los factores calculados en este estudio, así como los valores que se obtiene al considerar los límites de confianza superior e inferior.

Si se toman los valores del límite de confianza inferiores (para estar en la zona segura del valor de la media) y estos se comparan con valores obtenidos como índices de variación en estudios anteriores en otras destilerías, se observa una semejanza entre

los mismos (producción 0,340 % vs 0,547 %, almacenaje 0,501 % vs 0,523 %, despacho 0,497 % vs 0,453 %).

Por otra parte, los resultados son consistentes con los valores de error o clase de precisión establecidos precisados por el órgano competente en sus certificados de Aforo, tales como 0,2 % para los tanques de control, 0,5 % para el metro contador y tanque de almacenaje.

CONCLUSIONES

- Los valores de los factores de desbalances, se comportan de acuerdo a una distribución normal, para un nivel de confianza del 90 %. Lo anterior permite aplicar las técnicas para poblaciones normales, que confirman la validez del trabajo.
- Atendiendo a los resultados obtenidos relacionamos a continuación los valores de fluctuaciones que se proponen para ser aprobados en la unidad objeto de estudio son: almacenaje 0,501 %, producción 0,34 %, despacho 0,497 %, general 0,475 %.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Estévez, R. Estudio de diferencias y mermas de alcohol en destilerías. Informe Interno Inédito, 2004.
 2. United States. Bureau of Internal Revenue. Gauging Manual: Embracing Instructions And Tables for Determining the Quantity of Distilled Spirits by Proof And Weight : 1938. Washington: U.S. Govt. Printing Off., 1939.
 3. Oficina Nacional de Normalización NC 290:2007, Bebidas alcohólicas – Determinación del grado alcohólico en alcoholes, bebidas alcohólicas destiladas, vinos, licores, bebidas alcohólicas preparadas, cocteles y extractos hidroalcohólicos. 2 Edición Noviembre 2007.
 4. Estévez, R; Méndez, J. Estimación de pérdidas permisibles por fugas y evaporación en recipientes de alcohol, 1998.
-

instrucciones a los autores

Las contribuciones enviadas deben abordar la temática de todo lo concerniente al procesamiento de la caña de azúcar y sus derivados.

Se aceptarán contribuciones de los siguientes tipos:

1. Memorias Científicas Originales.
2. Comunicaciones.
3. Reseñas.
4. Trabajos de carácter teórico o descriptivo.

Se aceptarán solamente contribuciones inéditas. El envío de estas supone el compromiso del autor de no someterlas a la consideración de otras publicaciones y de ceder sus derechos a la revista.

Los artículos se someterán al sistema de revisión por pares, en la modalidad abierta al editor asociado, manteniendo el anonimato. Este recurso es inapelable.

Presentación de las contribuciones:

Se entregará una copia digital o se enviará por correo electrónico a: revista@icidca.edu.cu. También se remitirá una copia en papel. Se escribirán en español o en inglés, a dos espacios y en Arial 12 puntos, con una extensión máxima de 25 páginas. El formato a utilizar debe ser 8,5 x 11", los márgenes laterales, superior e inferior deben ser de 2 cm. Las tablas y figuras se insertarán en el lugar exacto y se acompañarán de su correspondiente título y pie de figura. El procesador de texto a utilizar será Microsoft Word. Las tablas deben crearse en este mismo software. Las figuras (fotografías, gráficos, esquemas) deben entregarse en formato JPG o TIF con una resolución de 300 dpi. Las unidades de medida deberán ser las especificadas en el Sistema Internacional de Unidades.

Estructura de las contribuciones:

- Título (en español e inglés): Conciso e informativo.
- Autor(es): Nombres completos y dos apellidos (resaltar en rojo responsable de la correspondencia)
- Institución donde labora(n) el(los) autor(es). Dirección de ésta.
- Correo electrónico del autor o los autores (imprescindible para enviar la copia electrónica del artículo en formato PDF)
- Resumen (en español e inglés): Los informativos son apropiados para las contribuciones del tipo 1 y 2; incluir el propósito de la investigación, así como los principales métodos, resultados y conclusiones. Las contribuciones del tipo 3 y 4 admiten la preparación de un resumen indicativo que exprese el tipo de artículo, los temas fundamentales, y la forma en que son tratados; debe utilizarse la forma impersonal con la partícula se y el verbo en tiempo presente. Se pueden combinar elementos de ambos y el resumen sería indicativo-informativo. El máximo de palabras a emplear debe ser de 200 y deben aparecer en un sólo párrafo.
- Palabras clave (en español e inglés): Términos o frases que describen aspectos fundamentales del contenido del artículo y no deben ser más de cinco.
- Introducción: Situación problemática. Problema de investigación e importancia. Estado del arte del que parte el autor para su aporte.
- En cuanto al desarrollo del artículo:
 - Para las contribuciones de los tipos 1 y 2 resulta más apropiado el esquema Materiales y Métodos, Resultados, y Discusión; las de los tipos 2 y 3 admiten otros subtítulos o epígrafes.
 - Materiales y Métodos: Explicar cómo se procedió.
 - Resultados: Presentar los hallazgos relevantes.
 - Discusión: Analizar e interpretar los resultados obtenidos.

Conclusiones: Consecuencias, deducciones y generalizaciones que emanan de la evidencia aportada por los resultados y su interpretación.

Recomendaciones (si proceden): Sugerencias justificadas.

Agradecimientos (si proceden): Reconocer ayudas significativas de personas e instituciones. En el caso de tratarse de trabajos realizados bajo el financiamiento de donativos internacionales (PGTF, GEF, PNUD, UNESCO, etc.) deben citarse exactamente sus generales.

Referencias Bibliográficas: El sistema aceptado para citar la literatura es el de cita por número según el orden de aparición. En el texto aparecerá el número entre paréntesis. Las referencias bibliográficas se ordenarán por orden de aparición en la lista. Sólo si es imprescindible se citarán artículos no publicados (en prensa). Se citarán todos los autores en caso de que existan seis o menos, cuando sean siete o más, solo se citarán los seis primeros y se agrega *et al.* El autor debe utilizar los signos de puntuación como aparecen en los ejemplos. Todos los títulos se escribirán en su idioma original.

Las referencias bibliográficas quedarán estructuradas según el tipo de documento de la siguiente forma:

Libros y folletos

Autor. Título del libro. Edición. Lugar de publicación: Editorial, año de publicación. Páginas.

Artículos en revistas

Autor. Título del artículo. Revista (Lugar de publicación) volumen (número) : página inicial-página final del artículo, mes año.

Capítulos de libros

Autor del capítulo. Título del capítulo. En: Autor del libro. Título del libro. Edición. Lugar de publicación : Editorial, año de publicación. Página inicial-página final de la parte.

Documentos legales

Título de la ley. (Nombre del Boletín Oficial, número de éste, día mes año de publicación). País.

Artículos no publicados (en prensa)

Autor. Título. Revista. En prensa. Año.

Patentes

Inventor. Título. Clasificación Internacional de Patentes. Fecha de solicitud. País en el que se registra la patente, tipo de documento. Número de certificado de concesión de la patente. Fecha de concesión.

Informes inéditos

Autor. Título del informe. Tipo de informe. Institución académica, año.

Informes publicados

Autor. Título del informe. Lugar de publicación: Organismo/Entidad Editora, año de publicación. (Serie, número de la serie)

Normas

Número de referencia de la norma. Título de la norma.

Textos electrónicos

Autor. Título. [tipo de soporte] Edición. Lugar de publicación: Editorial, fecha de publicación, fecha de actualización/revisión. Páginas. <Disponibilidad y acceso> [Fecha de Consulta].

Bases de Datos

Responsable principal. Denominación de la Base de Datos. [Tipo de soporte] Edición. Lugar de publicación: Editorial, año.

Programa informático

Responsable principal. Denominación del Programa Informático. [Tipo de soporte] Versión. Lugar de publicación: Responsable principal, año. Programa Informático.

Partes de textos electrónicos

Autor de la parte. Título de la parte. [Tipo de soporte] En: Autor del documento fuente. Título del documento fuente. Edición. Lugar de publicación: Editorial, fecha de publicación, fecha de actualización/revisión. Páginas que abarca la parte dentro del documento fuente. <Disponibilidad y acceso> [Fecha de Consulta].

Artículos en revistas electrónicas

Autor. Título del artículo. [Tipo de soporte] Revista. Página inicial-página final del artículo. Volumen, número, mes año. <Disponibilidad y acceso> [Fecha de Consulta]