

ICIDCA

sobre los derivados de la caña de azúcar

Volumen 49 No. 1 enero - abril 2015

ISSN - 0138-6204



Incremento del valor calórico del bagazo
a partir de su empleo para el control en
derrames de hidrocarburos



SISALCO: nueva solución para
la contabilidad alcohólica en
destilerías cubanas



FITOMAS-E seco.
Tecnología y aplicaciones

Í N D I C E

Evaluación del efecto de diferentes dosis del bionutriente Fitomas-E como alternativa ecológica en el cultivo del tomate

Adolfo Alvarez-Rodríguez, Alexander Campo-Costa, Eddie Batista-Ricardo,
Alcibíades Morales-Miranda

3

Incremento del valor calórico del bagazo a partir de su empleo para el control en derrames de hidrocarburos

Adolfo Brown-Gómez, José A. Pérez-Hernández, Yaima Izquierdo-González

10

Temperatura y concentración del jugo de caña según pisos climáticos en Ecuador

Walter Quezada-Moreno, Irenia Gallardo-Aguilar, Walter Quezada-Torres

17

Producción de proteínas recombinantes en *Bacillus megaterium*: estado del arte

Keyla Tortoló-Cabañas, Antonio Bell-García

22

Efecto de la edad y la época del año en la calidad de la caña luego del corte

Susana Ravelo-Bravo, Eduardo Lorenzo Ramos-Suaréz

27

Sisalco: nueva solución para la contabilidad alcoholera en destilerías cubanas

Arnaldo Díaz-Molina, Mauricio Ribas-García

32

Fermentación en estado sólido de *Trichoderma harzianum* bajo campos magnéticos

Siannah M. Mas-Diego, Iván L. Rodríguez-Rico, Clara Martínez-Manrique,
Georgina Michelena-Álvarez, Agenor Furigo Jr.

40

Diseño e integración del sistema de gestión de la energía al sistema de gestión de la calidad de la ronera central "Agustín Rodríguez Mena"

Gladys Cañizares-Pentón, Mabel Cuevas-Hernández,
Raúl Alberto Pérez- Bermúdez, Erenio González-Suárez

46

Fitomas-E seco. Tecnología y aplicaciones

José Villar-Delgado, Felipe Campo-Rodríguez, Bárbara-Hernández Cruz

53

Potencialidades de cianobacterias y microalgas en la biorremediación de efluentes de destilerías

Isis Amores-Sánchez, María del Carmen Terrón-Orellana,
Aldo E. González-Becerra, Tania González-Díaz de Villegas

58

Análisis comparativo de alternativas de secado del bionutriente Fitomas-E

Felipe Campo-Rodríguez, José Villar-Delgado, Bárbara Hernández-Cruz

71

CONTENTS

The evaluation of the effect of different doses of the bionutrient Fitomas-E as an ecological alternative in tomato's crop

3

Adolfo Alvarez-Rodríguez, Alexander Campo-Costa, Eddie Batista-Ricardo, Alcibíades Morales-Miranda

Increasing of the caloric value of bagasse from it's application on the control of hydrocarbons spills

10

Adolfo Brown-Gómez, Yaima Izquierdo-González, José A. Pérez- Hernández

Temperature and concentration of sugarcane juice according to climate zones

17

Walter Quezada-Moreno, Irenia Gallardo- Aguilar, Walter Quezada-Torres

Production of recombinant protein in *Bacillus megaterium*: state of art

22

Keyla Tortoló-Cabañas, Antonio Bell-García

Sugar cane age and season effect on cane stability after cutting

27

Susana Ravelo-Bravo, Eduardo Lorenzo Ramos-Suaréz

Sisalco: A new solution for ethanol accounting in cuban distilleries

32

Arnaldo Díaz-Molina, Mauricio Ribas-García

Solid state fermentation of *Trichoderma harzianum* under magnetic fields

40

Siannah M. Mas-Diego, Iván L. Rodríguez-Rico, Clara Martínez-Manrique, Georgina Michelena-Álvarez, Agenor Furigo Jr.

Design and integration of power management system to quality management system of rum factory "Augustín Rodríguez Mena"

46

Gladys Cañizares-Pentón; Mabel Cuevas-Hernández, Raúl Alberto Pérez-Bermúdez; Erenio González-Suárez

Dry Fitomas-E. Technology and applications

53

José Villar-Delgado, Felipe Campo-Rodríguez, Bárbara-Hernández Cruz

Potential of microalgae and cyanobacteria in bioremediation of distillery wastewaters

58

Isis Amores-Sánchez, María del Carmen Terrón-Orellana, Aldo E. González-Becerra, Tania González-Díaz de Villegas

Comparative analysis of drying alternatives of the bionutrient Fitomas-E

71

Felipe Campo-Rodríguez, José Villar-Delgado, Bárbara Hernández-Cruz

Evaluación del efecto del bionutriente Fitomas-E como alternativa ecológica en el cultivo del tomate

Adolfo Alvarez-Rodríguez, Alexander Campo-Costa, Eddie Batista-Ricardo, Alcibiades Morales-Miranda

Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Holguín, Ave. XX Aniversario s/n. Piedra Blanca. Holguín.
GP 57. CP80100. Cuba.
aalvarez@facing.uho.edu.cu

RESUMEN

El trabajo se realizó durante el período de noviembre a marzo del 2011 en áreas de la granja hortícola "Brisas", municipio de Holguín, Cuba, sobre un suelo pardo sialítico ócrico sin carbonatos. Se evaluó el efecto de diferentes dosis de aplicación del bionutriente Fitomas-E, sobre el desarrollo vegetativo y los rendimientos agrícolas en el cultivo del tomate, híbrido HA 30-19 (Galina) en condiciones de producción. Se utilizó un experimento con un diseño de bloques al azar con cuatro réplicas y seis tratamientos. Estos consistieron en la aplicación foliar con dosis de 0,3 L/ha; 0,5 L/ha; 0,7 L/ha; 0,9 L/ha y 1 L/ha. Se evaluaron los siguientes indicadores: altura de las plantas, número de flores por plantas, número de frutos por plantas, masa fresca de los frutos por parcelas, contenido de materia seca y rendimiento. Se observó que en los indicadores evaluados los mejores resultados se obtienen con la dosis de 0,7 L/ha. Aplicando esta dosis de Fitomas E en el cultivo del tomate se logran ganancias de \$ 62 146,98/ha respectivamente.

PALABRAS CLAVE: Fitomas -E, bionutriente, tomate.

ABSTRACT

Present paper was carried out during the period from November to March 2011 in areas of horticultural farm "Brisas", municipality of Holguin, Cuba, on a soil sialitic brown ochric without carbonates. Assessing the effect of different application rates of Fitomas E bio-nutrient, on vegetative development and agricultural yields in the tomato crop, hybrid 30-19 (Galina) in production conditions. An experimental design random blocks with six treatments and four replications was used. The experiments consisted on the foliar application with doses of 0.3 L/ha; 0.5 L/ha; 0.7 L/ha; 0.9 L/ha and 1 L/ha. Indicators evaluated were: plant height, number of flowers per plant, number of fruits per plant, fresh mass of the fruit per plot, content of dry matter and crop yield. It was observed that the best results were obtained with a dose of 0.7 L/ha. By applying this dose of Fitomas-E on the culture of tomato a profit of \$ 62 146.98/ha was achieved.

KEYWORDS: Fitomas E, bionutrients, tomato.

INTRODUCCIÓN

El tomate en Cuba es la principal hortaliza, tanto por el área que ocupa nacionalmente como por su producción. El área dedicada a la siembra de este cultivo ocupa el 50 % del total asignado al cultivo de las hortalizas, esto se debe a su importancia alimentaria. Según algunos informes [1] la producción mundial del cultivo del tomate en 1980

sobrepasaba los 50 millones de toneladas, fundamentalmente en los países de Europa y Asia. En Cuba en ese periodo alrededor de 311 800 toneladas eran obtenidas de este cultivo. Según datos de la FAO [2] los principales productores son China, Estados Unidos, Turquía, Italia, Egipto e India, países que conjuntamente han producido durante los últimos 10 años el 70 % de la producción mundial. Actualmente el rendimiento en la producción

de tomate a escala mundial es de 27,54 t/ha, fundamentalmente en los países de China, Turquía, EE.UU y Italia, en Cuba se obtienen rendimientos en el orden las 18 t/ha [3].

En los últimos años la obtención de altos rendimientos se ha visto limitada por diferentes factores entre los que se pueden señalar: la baja proporción de áreas bajo riego y deficiente explotación, la limitada existencia de técnicas eficientes de riego, la incidencia de plagas y enfermedades, suelos erosionados, los cortos períodos de precipitaciones mal distribuidas en tiempo y espacio, además de contar con pocos insumos para la fertilización [3]. Todo lo anterior hace necesaria la búsqueda de nuevas tecnologías para la obtención de rendimientos superiores a los actuales, sin la utilización de fertilizantes minerales que económicamente resultan costosos y su uso excesivo y continuo afecta los suelos y el medio ambiente, por lo que es necesario un uso racional y eficiente de estos.

En Cuba, desde 1999 se ha producido un significativo incremento en la producción y comercialización de nuevos insumos agrícolas, elaborados y desarrollados por diversas empresas nacionales e internacionales para su aplicación en los cultivos de importancia económica, con el fin de obtener incrementos en las cosechas, con riesgo mínimo de contaminación ambiental. Entre los que podemos citar: Liplant, Enerplant, CTA, Baifolan Forte, Fitomas-E y Pectimorf. Estos productos resultan muy efectivos y además, presentan bajos costos de producción lo que favorece su uso en múltiples estudios. Actualmente uno de los bionutrientes más aplicados es el Fitomas-E, tanto en el sector estatal como en el privado debido a la accesibilidad que tienen los productores a este producto y sus funciones estimuladoras. El Fitomas-E es un compuesto orgánico elaborado por el Instituto Cubano de Investigaciones sobre los Derivados de la Caña de Azúcar (Icidca) a partir de materiales proteicos, con aminoácidos, carbohidratos, péptidos de bajo peso molecular y minerales, contiene sólo sustancias propias del metabolismo vegetal que como es de esperar, propician una mejoría apreciable del intercambio suelo-planta, ya que el vegetal tratado mejora en cuanto a la cantidad y la calidad de los nutrientes que traslada al suelo mediante sus raíces, lo que beneficia a los microorganismos propios de su rizosfera que en esas condiciones incrementan a su vez el intercambio de productos de su metabolismo útiles al vegetal. Su empleo no requiere condiciones óptimas del medio ambiente, sino una correcta aplicación que garantice una aspersión foliar homogénea sobre el cultivo [4].

Se han reportado aumentos de los rendimientos y acortamiento del ciclo hasta la cosecha en varios cultivos no cañeros, entre ellos en tomate,

pepino, lechuga y acelga El Icidca recomienda la aplicación de este producto con dosis que varían en un rango entre 0,2 y 2 L/ha, en una a dos aplicaciones. No obstante se constata que no han sido determinadas las normas de aplicación precisas para cada cultivo [4]. Teniendo en cuenta estos elementos y basados en los resultados que han obtenido Montano y Viñals *et al* [4, 15], el presente trabajo tiene como objetivo la evaluación del efecto de diferentes dosis del bionutriente Fitomas-E como alternativa ecológica sobre el desarrollo vegetativo y los rendimientos agrícolas en el cultivo *Solanum lycopersicum* L (tomate), híbrido HA 30-19 en condiciones de producción de la granja hortícola "Brisas", Holguín.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en la granja hortícola "Brisas" perteneciente a la empresa agropecuaria, provincia Holguín, durante la campaña de frío, en el período comprendido entre los meses de noviembre a marzo del 2011, utilizándose la especie (*Solanum lycopersicum*), híbrido HA 30 19 (Galina).

Esta entidad se dedica a la producción de hortalizas, viandas y vegetales en conserva. Cuenta con un área de 30,73 ha, de ellas 25,75 dedicadas a la agricultura con diferentes tecnologías de producción, las que son: cultivos protegidos 0,13 ha, lombricultura 0,02 ha, huerto intensivo 2,01 ha. La fuente de abasto de agua para el riego de los cultivos hortícolas procede de pozos.

La semilla empleada es certificada, con la calidad requerida obtenida de la empresa provincial de producción de semilla. Se realizó previamente una adecuada preparación de suelo.

El trasplante se realizó sobre un suelo pardo sialítico ócrico sin carbonatos según la nueva clasificación genética de los suelos de Cuba [5]. A este se le determinó el análisis agroquímico.

El cartograma agroquímico del área experimental presenta los valores que se muestran en la tabla 1.

La siembra se desarrolló a una distancia de plantación de (1,20 m x 0,30 m), al cultivo solo se le realizaron riegos mínimos de subsistencia, aporques y limpiezas manuales con azada. Es importante resaltar que no se aplicó fertilización alguna, solo el producto objeto de estudio para obtener así el resultado de su efecto en las diferentes variables evaluadas. Para el control de plagas y enfermedades se sembraron de plantas reservorios de entomófagos entre diferentes zonas del huerto, entre las que podemos citar el cultivo del girasol, manzanilla, maíz y sorgo.

Tabla 1. Datos agroquímicos del suelo

Horizonte genético	Profundidad (cm)	Materia Org, (%)	pH	P ₂ O ₅ mg/100g	K ₂ O mg/100g	N (asimilable) (%)
A ₁	0-29	5,05	6,62	3,73	15,44	0,0076
A ₃	29-45	2,93	6,54	-	13,1	0,0043
B	45-62	2,33	6,28			0,0031

Para la investigación se utilizó un diseño de bloque al azar con seis tratamientos, y cuatro repeticiones, formándose 24 parcelas. Cada una cuenta con 5,0 m de largo por 6,0 m de ancho para un área de 30 m² [6]. Se mantuvo una separación de dos metros entre ellas como efecto de borde. Para un total de 83 plantas por parcelas y un cómputo de 1992 plantas en el experimento. Se seleccionaron 25 plantas por parcelas para la muestra y como área de cálculo en la parcela se consideró la correspondiente a los tres surcos centrales, excepto dos plantas en ambos extremos de cada surco.

Los tratamientos consistieron en la aplicación del Fitomas-E a razón de: T0- Testigo sin aplicación, T1-(0,3 L/ha), T2-(0,5 L/ha), T3-(0,7 L/ha), T4-(0,9 L/ha) y T5-(1 L/ha).

Se realizaron dos aplicaciones, a los 10 días después del trasplante y a los 15 días después de la primera aplicación; según lo recomendado por Garcés *et al.* [7]. Cada dosis se fraccionó en 50 % para cada momento de aplicación completando esta en todo su ciclo. La aspersión se realizó a la parte aérea hasta que el tejido foliar estuviera completamente humedecido. Se utilizó una mochila de fumigación Matabi de 16 litros de capacidad, la cual fue previamente calibrada.

Para la investigación se seleccionó un área de producción de (0,1 ha). Las evaluaciones se realizaron cada siete días y se evaluaron las siguientes variables:

- **Indicador de crecimiento de las plantas a los 45 días después del trasplante (ddt).**

La altura de la planta (cm) se midió con una cinta métrica a partir de la base del tallo por debajo del primer entrenudo hasta la parte superior de las ramas o copa de la planta, mientras la planta se mantuvo erecta.

- **Indicador de la floración a los 45 días después del trasplante (ddt).**

Se realizó el conteo de las flores en las plantas seleccionadas para determinar el número de ellas.

- **Indicadores de la producción.**

Cuando apareció el 50 % de los frutos cuajados por tratamiento, se determinó el valor promedio de fruto por planta.

Se realizaron pesadas de los frutos con una

balanza analítica para determinar la masa fresca de los frutos por parcelas (kg).

Se determinó la producción agrícola del cultivo en cada cosecha, realizando una pesada directa en el área de cálculo de cada parcela, para establecer los rendimientos agrícolas (t/ha).

- **Indicador de la calidad en los frutos**

El porcentaje de materia seca de los frutos por tratamientos se determinó según la técnica operatoria descrita por Alfonso y Domenech [8].

El comportamiento de las variables climáticas durante el desarrollo del experimento se tomó de la estación meteorológica más cercana a la parcela experimental (La Jíquima), perteneciente a la provincia de Holguín.

Los datos se procesaron a través del paquete estadístico Statistic Analysis System (SAS) [9] empleando un análisis de varianza de clasificación doble. En los casos en que los indicadores mostraron diferencias estadísticas significativas, se utilizó la prueba de comparación múltiples de medias de TUKEY [10].

La valoración económica de los resultados experimentales se realizó según la Metodología de la FAO para la realización de análisis económico [11], y se determinaron los siguientes indicadores económicos: costo unitario, ingresos, ganancia y valor de la producción. También para el conocimiento de los precios se utilizó la normalización propuesta por la Dirección Nacional de Finanzas y Precios de 1998.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Según los datos obtenidos del comportamiento de las variables climáticas como se muestra en la tabla 2, se aprecia que las temperaturas medias oscilaron entre los 20 y 23 °C, rango óptimo para el desarrollo y la cosecha de este cultivo. De acuerdo con informes publicados [1], el intervalo de temperatura para el cultivo del tomate se encuentra entre 22 y 27 °C.

Especial significación tiene para esta especie las temperaturas nocturnas y sobre todo la diferencia entre la temperatura diurna y la nocturna, que para Gómez *et al.* [12] debe ser del orden de

los 6 °C. Las altas temperaturas y la poca diferencia entre la temperatura diurna y nocturna es una de las causas de la baja fructificación del tomate en Cuba en la primavera y así lo demuestran los rendimientos obtenidos [1].

Otros autores [12], han señalado que la temperatura influye en todas las funciones vitales de la planta, como son la transpiración, fotosíntesis, germinación; teniendo cada especie vegetal en su ciclo biológico una temperatura óptima.

En el caso de la humedad relativa durante el transcurso de la investigación, se comportó entre (72 - 79 %), razón por la cual pudo haberse afectado la fructificación, pues la humedad relativa más favorable para el desarrollo del tomate se considera entre el 50 y 60 %. En estudios realizados por Gómez *et al* [12] se señala que la humedad relativa influye sobre el crecimiento de los tejidos, transpiración, fecundación de las flores y desarrollo de las enfermedades criptogámicas, siendo preferible humedades medias no superiores al 50 %.

Las precipitaciones se comportaron de manera escasa y en ocasiones mal distribuidas en tiempo y espacio. Los valores de lámina de agua caída al cultivo en todo su ciclo fueron de 107,1 mm. Según Guenkov [13] este es un cultivo relativamente

resistente a la sequía, aunque en la fase de establecimiento, floración-fructificación y maduración-cosecha es donde más requerimiento de agua necesita.

En la tabla 3 se muestra el efecto de las diferentes dosis del Fitomas-E en la altura de las plantas, donde se observa que existe diferencia significativa entre los tratamientos y estos con respecto al testigo. Siendo la dosis de 0,7 L/ha donde las plantas alcanzan mayor altura, tal efecto permite que el cultivo logre una mejor disponibilidad y absorción de los nutrientes asimilables por las actividades de diferentes microorganismo del suelo. Esto permite el suministro de sustancias fitohormonales (auxinas, giberelinas, citoquininas) a las plantas [14]. También este producto contiene estructuras bioquímicas (aminoácidos como el triptófano precursor de la síntesis de auxinas, oligosacáridos, bases nitrogenadas y otras), normalmente sintetizadas por las plantas, que a través de la fotosíntesis son fijadas en las hojas y trasladadas por el tallo hacia las raíces liberando sustancias útiles que estimulan el crecimiento. Este comportamiento es tal vez un efecto compensatorio de los fitorreguladores de crecimiento y floración [15].

Resultados similares fueron obtenidos en el cultivo del tomate al aplicar la dosis de 0,7 L/ha del bionutriente Fitomas-E mostrando incrementos en la altura las plantas tratadas [16]. De igual manera se informó incremento en la altura de las plantas de tomate variedad Vyta al aplicar este producto con la dosis de 0,7 L/ha [17]. En investigaciones realizadas en el cultivo de la lechuga var. R-SS-13 aplicando las concentra-

ciones de 0,2 L/ha y 0,8 L/ha se obtuvo como resultado que al aplicar una menor concentración de este producto se producía un incremento del 32 % en la longitud, 60 % en el número de hojas y 65 % en peso seco [18].

Los efectos de las diferentes dosis de Fitomas-E sobre el número de florales y frutos por plantas se muestran en la tabla 4. Del análisis de la misma, se aprecia que en la variable número de florales no existe diferencia significativa entre las plantas tratadas con dosis de 0,3 y 1 L/ha ni entre las dosis de 0,5 y 0,7 L/ha, si de estas con respecto al tratamiento control. En el caso del número de frutos por plantas se muestra que no existen diferencias significativas entre las dosis a razón de 0,9 y 1 L/ha, si entre las demás dosis y estas con respecto al tratamiento control, siendo la dosis de 0,7 L/ha donde se obtienen los mayores

Tabla 2. Comportamiento de las variables climáticas en el área experimental

Campañas	Meses	Temperaturas media (°C)	Humedad relativa (%)	Precipitaciones (mm)
2010	diciembre	20,2	76	19,3
2011	enero	22,9	79	25,8
2011	febrero	23,4	74	26,1
2011	marzo	23,5	72	35,9
Total				107,1

Tabla 3. Efecto de diferentes dosis de FitoMas-E en la altura de las plantas

Tratamiento	Dosis (L/ha)	Altura de las plantas (cm)	
		X	± S
To	-	60,68 ^f	4,05
T1	0,3	78,70 ^c	1,84
T2	0,5	85,61 ^b	2,06
T3	0,7	93,24 ^a	3,14
T4	0,9	72,57 ^d	2,08
T5	1	66,94 ^e	2,46
(CV %)		14,00	
ES+		0,47	

Letras diferentes (a, b, c, d, e, f) demuestran que existen diferencias significativas entre los tratamientos para P = 0,05 de acuerdo a la prueba de Tukey.

Tabla 4. Efecto de diferentes dosis de Fitomas-E en el número de flores y frutos por plantas en cada tratamiento

Tratamiento	Dosis (L/ha)	Número de flores por plantas		Números de frutos por plantas	
		X	± S	X	± S
To	-	24,74 ^d	1,49	16,57 ^e	1,47
T1	0,3	30,80 ^c	2,82	20,20 ^c	1,74
T2	0,5	35,69 ^a	4,98	21,52 ^b	2,93
T3	0,7	36,75 ^a	4,38	22,64 ^a	3,10
T4	0,9	34,04 ^b	4,10	18,42 ^d	1,75
T5	1	30,69 ^c	3,28	17,63 ^d	1,47
(CV %)		16,56		15,53	
ES+		0,22		0,13	

Letras diferentes (a, b, c, d) demuestran que existen diferencias significativas entre los tratamientos para P = 0,05 de acuerdo a la prueba de Tukey.

Tabla 5. Efecto de diferentes dosis de Fitomas-E en la masa fresca y porciento de materia seca de los frutos por tratamientos.

Tratamiento	Dosis (L/ha)	Masa fresca de los frutos en 30 m ² (kg)		Materia seca del fruto (%)		Rendimiento (t/ha)	
		X	± S	X	± S	X	± S
To	-	14,921 ^e	0,02	4,75 ^f	0,22	28,3d	1,05
T1	0,3	20,163 ^c	0,36	5,75 ^c	0,14	47,0 ^b	2,21
T2	0,5	22,455 ^b	0,49	5,90 ^b	0,18	56,0a	2,00
T3	0,7	23,974 ^a	0,38	7,15 ^a	0,34	62,2a	2,00
T4	0,9	20,301 ^c	0,23	5,60 ^d	0,17	36,3c	2,20
T5	1	17,968 ^d	0,29	5,05 ^e	0,10	38,3c	2,20
(CV %)		16,71		13,55		17	
ES+		0,02		0,016		0,63	

Letras diferentes (a, b, c, d, e y f) demuestran que existen diferencias significativas entre los tratamientos para P = 0,05 de acuerdo a la prueba de Tukey.

valores en ambas variables. Tal efecto pudo estar enmarcado en la acción que ejerce este bioestimulante con dosis de 0,7 L/ha sobre la biosíntesis de proteínas y otros procesos de la planta posibilitando un incremento de la floración. Además de aportar a la planta sustancia como la L-arginina al 0,16 %, L lisina al 0,52 % y el L ácido glutámico al 0,05 % los cuales contribuyen en la síntesis de hormonas relacionadas con la formación flores y frutos [15]. Incrementos en el número de flores en plantas de tomate variedad Vyta fueron reportados al aplicar el Fitomas-E con dosis de 0,7 L/ha [17].

En la tabla 5, referente al efecto de diferentes dosis de Fitomas E en la masa fresca, porciento de materia seca de los frutos y rendimiento agrícola por tratamientos, se observa que en las variables masa fresca y porciento de materia seca de los frutos existen diferencias significativas entre las dosis y de estas con respecto al tratamiento control. En el caso del rendimiento agrícola se aprecia que los tratamientos donde se aplican las dosis de 0,3; 0,5; 0,7; 0,9 y 1 L/ha superan al testigo, siendo el tratamiento donde se obtienen los mejores resultados en

todas las variables evaluadas el de la dosis 0,7 L/ha, alcanzando producciones de 62,2 t /ha. El aumento de la masa fresca, seca y el rendimiento agrícola se debe al efecto de este producto determinado por su acción en los procesos fisiológicos de las plantas, los que pudieran estar relacionados con una mayor acumulación de materia seca y agua [4, 16, 17].

Resultados similares fueron obtenidos en plantas de cebolla al ser tratadas con Fitomas-E, obteniendo como resultado incrementos en el peso de los frutos por parcelas [4]. De igual manera autores reportan el efecto positivo que ejerce este producto sobre el peso del repollo del cultivo *Brassica oleracea* var. Capitata L (Col). Por otra parte en cultivos de granos de vigna y forraje se demostró que con la aplicación de este producto se incrementó en un 63 el porciento de materia seca [19].

VALORACIÓN ECONÓMICA

Para determinar el efecto económico producido por los tratamientos en la campaña de producción,

Tabla 6. Resultados económicos de la investigación

Tratamientos	Rendimiento (t ha ⁻¹)	Gasto de producción (\$)	Ingreso (\$)	Ganancia (\$)
Testigo	28,3	4891	31 377,34	26 486,42
0,3 L/ha	47	6123	52 110,78	45 987,78
0,5 L/ha	56	6250	62 089,44	55 839,44
0,7 L/ha	62,2	6816,64	68 963,62	62 146,98
0,9 L/ha	36,3	5762	40 247,26	34 485,26
1 L/ha	38,3	5864	42 464,74	36 600,74

Letras diferentes (a, b, c, d, e y f) demuestran que existen diferencias significativas entre los tratamientos para P = 0,05 de acuerdo a la prueba de Tukey.

se realizó el análisis económico cuyos resultados se muestra en la tabla 6, teniendo como base el rendimiento obtenido. Arrojando que los mejores resultados se obtienen cuando se aplica la dosis de 0,7 L/ha reportando ganancias de \$ 62 146,9 por hectárea, respectivamente, seguido por las dosis de 0,3 y 0,5 L/ha. Es válido destacar que el resto de los tratamientos donde se aplicó este producto mostraron ganancias superiores al testigo. Es importante resaltar que para obtener en condiciones de producción elevadas ganancias en este cultivo, sería necesario invertir grandes sumas de dinero en fertilizantes químicos y en tecnologías que favorezcan la obtención de altos rendimientos, lo que trae-

ría con siglo el encarecimiento de los costos de producción. Por lo que es necesaria la utilización de productos de fabricación nacional que presenten bajo costos de producción facilitando su uso en múltiples estudios y eleven los rendimientos de los cultivos de importancia económica. Según López *et al.* [20] la aplicación del Fitomas E estimula los rendimientos de varios cultivos, obteniendo un incremento en las ganancias económicas de estos

CONCLUSIONES

Las variables altura de la planta y número de flores por planta en la dosis de 0,7 l/ha fue la de mejor efecto en la campaña evaluada. De igual forma, esta dosis resulto la de mejores resultados en las variables número de frutos números de frutos por plantas, masa fresca de los frutos y rendimiento agrícola en las diferentes campañas evaluadas campañas evaluadas. Con la aplicación de la dosis de 0,7 L/ha en el cultivo del tomate se obtuvieron ganancias de \$ 62 146,9 por hectárea.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Huerres, P. C., Caraballo, N. Horticultura: Pueblo y Educación La Habana, 1996. pp. 70, 83, 120, 128 - 129 y 138.
2. FAO. The state of the world's plant genetic resources for food and griculture. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación: Italia, 1998. pp.510.
3. MINAGRI. Proyección estratégica para la producción de los cultivos varios hasta el 2015,2009.
4. Montano, R. FitoMas E, bionutriente derivado de la industria azucarera, Composición, mecanismo de acción y evidencia experimental. Informe interno (Instituto Cubano de Investigaciones en Derivados de la Caña de Azúcar),2008.
5. Hernández, A., Pérez, J., Rivero, L . Nueva versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba. La Habana: AGRINFOR, MINAGRI. Instituto de Suelos, 1999. pp. 64.
6. Rodríguez, A., Companioni, N., Peña, E., Cañet, F., Fresneda., Rey, R. Manual Técnico para organopónicos, huertos intensivos y organoponía semiprotegida. sexta edición: ACTAF, 2007. pp. 42-43, 68-69.
7. Garcés, N.; Marbot, R.; Ramos, R.; García, Lidia. Sustancias con actividad biológica sobre las plantas en el producto Liplant (Humus Líquido). V Encuentro de la Agricultura Orgánica de la ACTAF, Resúmenes. La Habana, Cuba, 2003. pp. 71
8. Alfonso, D., Domenech, D. Prácticas de suelo y agroquímica :Ed. Pueblo y Educación, Guantánamo,1987 pp. 168.
9. SAS. Statistic Analysis System. Versión8.02. Centro Nacional de Frutales. Municipio de Alquizar. La Habana. Cuba, 2001.
10. Lerch, G. La experimentación en las Ciencias Biológicas y Agrícolas: Editorial Científico Técnica. La Habana, 1977. pp. 452.

11. FAO. (1980). Metodología para la realización de análisis económico cuando se evalúan fertilizantes, bioestimulantes u otras aplicaciones en los cultivos: Roma, 1980. pp. 7-10.
12. Gómez, O; Casanova, A; Laterrol, H; Anais, G. Manual técnico. Mejora genética y manejo del cultivo del tomate para la producción en el Caribe. Instituto de Investigaciones Hortícola "Liliana Dimitrova" (IIHLD): La Habana, 2000. pp. 159.
13. Guenkov, G. Plantas hortícolas de frutos carnosos. En Fundamentos de horticultura cubana. La Habana. Instituto del libro, 1974 . pp.123-143.
14. Pulido, J., Soto, R Ortiz & Castellanos, R. Efecto del Biobrás y el Fitomas-E en el tomate de crecimiento indeterminado en casas de cultivo protegido. Centro Agrícola, 40 (1), 29-34; enero-marzo, 2013.
15. Viñals, M., García, A., Montano, R., Villar, J., García, T & Ramil, M. Estimulante de crecimiento agrícola FitoMas-E resultados de producción del año 2010 y su impacto en cultivos seleccionados de alimentos. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, 3(45), 1-23, septiembre -diciembre 2011.
16. Villar, J., Montano, R., López, R. Efecto del bioestimulante FitoMas E en cultivos seleccionado. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, 39(2), 41-45, mayo -agosto 2005.
17. Alarcon, A., Barreiro, P., Alarcón, A., Días, Y. Efecto del Biobras-16 y el FitoMas-E en algunos indicadores del crecimiento y el rendimiento del tomate (*Solanum Lycopersicum*, Lin) variedad "Vyta"16 (1)23-27, enero-abril 2012.
18. Ramos, L., Martínez, F. Efecto del FitoMas E y el Bioplasma en el rendimiento del cultivo de la lechuga var. Amalia , bajo condiciones de cultivo semiprotegido. XV Congreso Científico. INCA, 2007.
19. Díaz, F. Efecto del Vitazyme y el FitoMas E en la producción de forrajes y *Vigna unguiculata*. (Informe al proyecto del ICIDCA). ICA, 2004.
20. López, R., Montano, R., Caminero, R. Aplicación de diferentes dosis de FitoMas E en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill) variedad ARO 8484 en condiciones de organopónico en la provincia de Santiago de Cuba. Informe al proyecto 271 del ICIDCA. Universidad de Guantánamo, 2007.

Un centro moderno al servicio del medio ambiente



CENGMA

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



Incremento del valor calórico del bagazo a partir de su empleo en derrames de hidrocarburos

Adolfo Brown-Gómez, José Alberto Pérez-Hernández, Yaima Izquierdo-González

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA),
Vía Blanca 804 y Carretera Central, La Habana, Cuba

adolfo.brown@icidca.azcuba.cu

RESUMEN

Se realizó un estudio con bagazo integral a la salida del tándem de la empresa azucarera “Héctor Molina” para evaluar sus potencialidades como material adsorbente con prestaciones en el control para derrames de hidrocarburos que pueden producirse como resultado de las deficiencias operacionales en las empresas azucareras. Para un bagazo con una densidad aproximada de 80 kg/m^3 , se evaluó la incidencia del contenido de humedad y la granulometría de la fibra en su capacidad de adsorción. Los resultados alcanzados indican que la humedad promedio del bagazo integral oscila alrededor de 47,63 % a la salida del tándem y que el valor más efectivo pertenece al tamiz de 3,15 mm, donde el 55,85 % del bagazo logra pasar, demostrando así el alto grado de preparación que recibe la caña en los molinos o tándem de ese central. De igual forma se comprobó la incidencia de los contenidos de humedad de la fibra en la adsorción de hidrocarburos, donde el bagazo con un contenido promedio de humedad de 31,57 % es capaz de adsorber 4,94 g hidrocarburo/g bagazo, valores que se incrementan cuando el contenido de humedad promedio es de 11,48 % hasta 5,68 g hidrocarburo/g bagazo. Se demostró que no se existe una proporcionalidad directa entre la reducción del contenido de humedad y los niveles de adsorción, sobre el cual inciden también, otros aspectos como la viscosidad del hidrocarburo.

PALABRAS CLAVE: bagazo, derrame de hidrocarburos.

ABSTRACT

A study with integral bagasse at the tandem outlet of the sugar company “Héctor Molina” to evaluate its potential as adsorbent material useful on the control of oil spills that may occur as a result of operational deficiencies in the factory. With a bagasse with a density around 80 kg/m^3 , the incidence of moisture content and fiber mesh size in their adsorption capacity was evaluated. Results indicate that the moisture of integral bagasse averages around 47.63 % at the tandem outlet, as well as, the most effective particle size was the corresponding to 3.15 mm sieve, where 55.85 % of bagasse passes through the grid, which demonstrates the high grade of preparation that sugarcane receives in the sugar factory. Similarly it was found the incidence of the fiber moisture content on adsorption of hydrocarbons where bagasse with a average content of 31.57 % absorbs 4.94 g hydrocarbon /g bagasse. Those values are significantly enhanced when moisture values drop up to 11.48 % showing an absorption of 5.68 g hydrocarbon /g bagasse. It was also demonstrated that there is not a direct proportionality between the reduction of moisture content and absorption levels, on which also impact other factors as hydrocarbon viscosity.

KEYWORDS: bagasse, hydrocarbon spill.

INTRODUCCIÓN

El cuidado de los ecosistemas como resultado del uso de productos provenientes de la biomasa, no tóxicos y biodegradables, debe ser una premisa a seguir en cada una de nuestras investigaciones. La necesidad de potenciar el uso de materiales al más bajo costo posible para el control de derrames se hace posible, ya que disponemos de una de las reservas de biomasa más abundantes del país y su tendencia creciente estará dada por la eficiencia productiva dentro del sector. Vale señalar que en una zafra de 4 millones de toneladas de azúcar, se muelen alrededor de 35 millones de toneladas de caña y se producen más de 10 millones de toneladas de bagazo.

En países donde la actividad petrolera es básicamente terrestre el cuidado de los suelos y los subsuelos contaminados por hidrocarburos constituyen una prioridad porque al igual que en los mares afectan a la flora, la fauna terrestre, así como las aguas subterráneas y aguas dulces superficiales, repercutiendo directamente en la vida de los seres humanos. Los daños no solo dependen de la cantidad vertida sino también del lugar, el momento del año, y el tipo de hidrocarburo [1, 2]. La biodegradación de los hidrocarburos es la degradación biológica del petróleo y derivados, llevada a cabo por bacterias y hongos que poseen la capacidad de oxidarlos, mineralizarlos (transformarlos en bióxido de carbono y agua) o transformarlos en biomasa. Dado que los microorganismos requieren nitrógeno y fósforo para incorporar en la biomasa, el aprovechamiento de estos nutrientes en un suelo con derrame es un factor crítico para su posible degradación. Es posible la aceleración de aquel proceso por adición de urea, fosfatos, fertilizantes del tipo NPK.

Actualmente existen en el mundo diferentes técnicas de saneamiento que pueden emplearse según el tipo de contaminante y las características del lugar, se trata de encontrar y buscar vías que sean cada vez más efectivas y que en su interacción con el medio contaminado no intensifiquen el problema inicial [3], dentro de estas se encuentran:

Contención y recogida: Estas técnicas no causan daños y son muy usadas, pero su eficiencia, aun en las mejores condiciones, sólo alcanza entre 10-15 %.

Dispersantes: Es muy importante elegir bien la sustancia química que se usa como dispersante porque se ha descubierto que pueden ser más tóxicas y causar más daños que el propio petróleo.

Incineración: Eficaz pero altamente contaminante.

Biodegradación-biorremediación: Consiste principalmente en el uso de diferentes organismos

(plantas, levaduras, hongos, bacterias, etc.) del medio para neutralizar sustancias tóxicas.

Las regulaciones ambientales en los últimos diez años han incrementado los costos en la disposición de residuales peligrosos al medio. La combinación de los cambios regulatorios, los esfuerzos por adquirir en los mercados, solventes para la eliminación de derrames petroleros con menor costo/beneficio y el objetivo renovado de la industria por reducir y/o eliminar los derrames, ha generado un interés por las tecnologías de punta en el terreno de los solventes. Eficiencia, costo y conveniencia son los de mayor importancia.

Se ha demostrado que el empleo de solventes resulta una medida de control efectiva en muchos escenarios de derrames. Sin embargo, después de la operación de limpieza inicial el solvente usado y el petróleo adsorbido, así como otros materiales asociados con la actividad de limpieza, deben tener una disposición final adecuada. Por esta razón en el mundo existe la tendencia actual, según su disponibilidad, de emplear materiales adsorbentes de fibras naturales de bajo costo como astillas de madera, cortezas de árboles, cáscaras de cocos, pajas de arroz entre otras [4, 5]; por su alta capacidad de adsorción, su condición sostenible y biodegradable. En el caso del bagazo, se estudia su posible re-uso una vez utilizado en el control de hidrocarburos como fuente adicional de energía.

En nuestro estudio el bagazo inicialmente será clasificado con el objetivo de lograr que el producto final cumpla con las normas recomendadas para los materiales adsorbentes empleados en estas operaciones. Como resultado del tratamiento de adsorción mediante el empleo de este producto, se generará un residual, cuya mezcla bagazo + petróleo (BP) puede ser recogida por métodos convencionales y/o por vía mecánica. La mezcla bagazo+ petróleo puede ser empleada como combustible sólido en otras aplicaciones o puede emplearse en la agricultura para el acondicionamiento de suelos después de ser sometida a un proceso adecuado.

Cuando se trabaja con bagazo secado al aire, generalmente la humedad que se obtiene oscila alrededor del 50 %, para el uso que se propone, es de interés una biomasa donde el contenido medio de humedad no conspira contra la eficiencia del proceso de adsorción de hidrocarburo y la calidad de la mezcla BP a la entrada del proceso de gasificación, es importante el dato referido a la densidad aparente que nos permita obtener buenos resultados de adsorción y similar a los que se obtiene con el combustible habitual en términos de caudales de gases, rendimientos, contenido de

cenizas y distribución granulométrica del bagazo para su posible incorporación al proceso [6].

En las empresas azucareras, cuando nos referimos a un accidente producido por derrame, no existe otra medida que mitigar el impacto negativo que se pueda producir al medio ambiente circundante a partir de una estrategia operativa que garantice el empleo de la propia biomasa generada por el central.

Este trabajo está dirigido a proponer medios adsorbentes renovables a partir de bagazo para controlar derrames de hidrocarburos en la industria, cerrando su ciclo como fuente de energía.

MATERIALES Y METODOS

Se utilizó bagazo integral procedente del central “Héctor Molina” de la provincia Mayabeque para determinar su capacidad de adsorción ante un posible derrame. Las propiedades definidas para el estudio fueron:

1. Bagazo integral.
2. Contenido de humedad.
3. Grado de molienda (se consideró el grado de molienda del central “Héctor Molina”)

Determinación del contenido de humedad

Para la determinación del contenido de humedad se utilizó una balanza técnica de humedad (Ohaus MB 35 Moisture analyzer, Ohaus Europe GmbH Nänikon, Suiza).

Clasificación del bagazo

Después de controlar la humedad del bagazo se realizó el tamizado del mismo por mallas de 8, 6,3 y 3,15 mm, para esto se utiliza un equipo tamizador.

Capacidad de adsorción del bagazo

Se llevó a cabo por medición gravimétrica (grado de precisión 0,001) para evaluar la capacidad de adsorción del bagazo sometido a la experiencia del derrame. La experiencia consistió en añadir el bagazo sobre un medio creado artificialmente de derrame de hidrocarburo, el combustible utilizado comercialmente por el grupo AZCUBA en todas las calderas ubicadas en sus plantas de derivados y bioprocesos.

Determinación de la viscosidad del combustible

La viscosidad es uno de los elementos fundamentales que debemos tener en cuenta en el análisis de la capacidad de adsorción cuando se utiliza como medio de adsorción el bagazo.

La viscosidad del hidrocarburo (petróleo) se determinó en el equipo rheotec en el cual se reali-

zaron múltiples determinaciones y se obtuvo que la densidad promedio es de 2 825 cp a 28 °C, por lo tanto todos los resultados obtenidos de capacidad de adsorción están referidos a esta viscosidad que fue donde se realizó la corrida experimental.

Modo de aplicación del bagazo para la mitigación y/o control de los derrames

La aplicación del bagazo utilizado como medio absorbente será directa sobre el derrame, permaneciendo por un tiempo adecuado para que este adsorba el hidrocarburo, posteriormente se recoge utilizando métodos manuales que permitan alimentar la caldera. La propuesta de densificación del bagazo para el control de derrames puede aumentar el contenido de adsorción de hidrocarburo en función de la cantidad de gramos de bagazo que logremos compactar en forma de briquetas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis del bagazo en base seca para reportar un valor calórico de la fibra, aportó valores en el orden de las 4 250 kcal/kg [7]. Se tomó como indicador que en las empresas azucareras la combustión del bagazo se realiza a 1000 °C, que las cenizas que se generan no ofrecen ninguna dificultad para su extracción, ni deben representar más de un 2 % y se consideró un valor estimado, en la densidad aparente del bagazo, igual o superior a 80 kg/m³ [8].

El análisis del contenido de humedad del bagazo a la salida del tándem, reporta los valores que aparecen en la tabla 1.

Después de establecer la humedad promedio del bagazo integral en 47,63 %, se procedió a la clasificación de las fibras. En la tabla 2 aparecen los resultados del estudio.

Tabla 1. Contenido de humedad del bagazo integral temperatura de ensayo: 105 °C

Muestra	Contenido de humedad (%)	Tiempo (min)
1	45,39	12,5
2	41,37	10,8
3	38,87	12,6
4	50,10	17,4
5	54,94	11
6	48,10	12,2
7	54,69	9,4
-	Humedad promedio: 47,63	-

Tabla 2. Clasificación de las fibras de bagazo integral por tamizado

Muestra	P. inicial (g)	P. retenido (8mm)	P. retenido (6,3mm)	P. retenido (3,15mm)	P. tamizado (3,15mm)
1	30	4,62	3,23	5,45	16,70
2	30	4,70	3,21	5,47	16,62
3	30	4,35	3,49	5,43	16,73
4	30	4,45	3,26	5,44	16,85
5	30	4,44	3,22	5,45	16,89
6	30	4,52	3,29	5,46	16,73
7	30	4,51	3,28	5,43	16,78
Promedio	30	4,512	3,282	5,447	16,757
%	100 %	15,04 %	10,94 %	18,17 %	55,85 %

En la tabla 2 se muestran los resultados alcanzados para las diferentes fracciones obtenidas en cada tamiz. La distribución de tamaño de la muestra mostró una mayor proporción en el tamiz de 3,15 mm con 55,85 % del bagazo. El dato demuestra el alto grado de preparación que recibe la caña al pasar por los molinos o tándem de ese central.

Capacidad de adsorción de bagazo integral para tratar los derrames de hidrocarburos

Los ensayos montados para simular la adsorción del bagazo en el control de los derrames de hidrocarburos, muestran sus resultados en la tabla 3, donde aparece que la capacidad real de adsorción del bagazo integral es de 4,39 g hidrocarburo/g bagazo. Estos valores corresponden al bagazo a la salida del tándem, con una humedad promedio de 47,63 %.

Variación en la capacidad de adsorción del bagazo en función del contenido de humedad.

Se montaron ensayos que permitieron evaluar la capacidad de adsorción del bagazo sometido a

un proceso de secado natural en función de los contenidos de humedad. La tabla 4 demuestra la influencia de este parámetro (humedad) en los niveles de adsorción de hidrocarburo.

Los resultados obtenidos demuestran la relación entre el contenido de humedad y la capacidad de adsorción. Estos oscilan entre 30-33 % de humedad y establecen como promedio 31,57 % para el bagazo, reportando una capacidad de adsorción total del mismo de 4,94 g hidrocarburo /g bagazo.

Los resultados alcanzados demuestran que la disminución en el contenido de humedad aumenta ligeramente la capacidad de adsorción. Contenidos que oscilan entre 10-15 % de humedad y establecen como promedio 11,48 % para el bagazo, reportaron una capacidad de adsorción total del bagazo de 5,68 g hidrocarburo /g bagazo, lo que se muestra en la tabla 5.

La gran ventaja en disponer de bagazo como medio absorbente, son su costo y abundancia en Cuba. Esto nos permite utilizarlo como controlador en derrames de combustibles y adicionalmente tiene la enorme ventaja de extender su empleo como combustible en las calderas convencionales disponibles en las empresas azucareras.

La determinación del poder calórico total del bagazo después que el mismo fue utilizado como medio adsorbente, se realiza teniendo en cuenta la relación de por ciento del peso del bagazo y su valor calórico a la humedad de uso, más la fracción de peso del combustible por el valor calórico del combustible. De este análisis se concluye, que el valor calórico del bagazo a 50 % de humedad, cuando se utiliza como medio adsorbente en tratamientos de derrames de hidrocarburos, oscila

Tabla 3. Potencialidades del bagazo integral en la adsorción de hidrocarburo

Muestras	P. inicial bagazo integral (g)	P. bagazo + hidrocarburo	Hidrocarburo absorbido (g)	Capacidad adsorción g hidr/g bagazo	Capacidad adsorción absoluto g hidrc/ g bagazo
1	30	128,51	98,51	4,28	3,2836
2	30	129,60	99,6	4,32	3,32
3	30	138,80	108,8	4,62	3,6266
4	30	130,35	100,35	4,34	3,345
5	30	129,44	99,44	4,31	3,3146
6	30	134,22	104,22	4,47	3,474
7	30	133,69	103,69	4,45	3,4536
Promedio	30	132,08	102,08	4,39	3,40

Tabla 4. Resultados de adsorción de hidrocarburo en bagazo con un contenido de 30-35 % humedad

Muestra	P. inicial bagazo integr (g)	Humedad (%)	Peso del bagazo + hidrocarb	P. hidrocarb adsorbido	C. adsorción total g hidrc/ g bagazo	C. adsorción absoluta g hidrc/ g bagazo
1	30	33	143,93	113,93	4,79	3,79
2	30	31	145,15	115,15	4,84	3,8383
3	30	32	156,26	126,26	4,89	4,2086
4	30	30	146,92	116,92	4,89	3,8973
5	30	32	145,24	115,24	4,84	3,8413
6	30	32	150,32	120,32	5,01	4,0106
7	30	31	149,73	119,73	4,99	3,991
Prom	30	31,57	148,22	118,22	4,94	3,9406

Tabla 5. Resultados de adsorción de hidrocarburo en bagazo con un contenido de 10-15 % humedad

Muestra	P. inicial bag integr.(g)	Humed. (%)	P. bag. + hidrocarb	P. hidrocarb ab sorbido	C. ab sorc total g hidrc/ g bagazo	C. ab sorc absoluta g hidrc/ g bagazo
1	30	11	165,52	135,52	5,52	4,5173
2	30	12	166,92	136,92	5,56	4,564
3	30	10	179,70	149,70	5,99	4,99
4	30	13	168,96	138,96	5,63	4,632
5	30	11	167,03	137,03	5,56	4,5676
6	30	11	172,87	142,87	5,76	4,7623
7	30	12	172,19	142,19	5,74	4,7396
Prom	30	11,48	170,45	140,45	5,68	4,6816

alrededor de 7 842,25 kcal/kg mezcla tomando como base la siguiente ecuación:

$$VCI_{mezcla} = VC_{combustible} \times \% \text{ de peso en la mezcla} + VC_{bagazo} \times \% \text{ de peso en la mezcla.}$$

$$VCI_{mezcla} = 9\,550 \text{ kcal/kg}_{combustible} \times 0,77 + 2\,125 \text{ kcal/kg}_{bagazo} \times 0,23$$

$$VCI_{mezcla} = 7\,353,5 \text{ kcal/kg}_{combustible} + 488,75 \text{ kcal/kg}_{bagazo}$$

$$VCI_{mezcla} = 7\,842,25 \text{ kcal/kg}_{mezcla}$$

Nota: VCI - valor calórico inferior

Como se observa, el medio filtrante bagazo con el combustible le proporciona a la mezcla un elevado poder calórico, pues en comparación el valor calórico del combustible es 4,5 veces superior al del bagazo. Cada kilogramo de mezcla representa una sustitución equivalente de bagazo de 3,69 kg_{bagazo} /kg_{mezcla}.

Influencia de la naturaleza del hidrocarburo sobre la capacidad de adsorción del bagazo

Hasta aquí se ha evaluado cómo la preparación de la muestra y el contenido de humedad tienen influencia en la capacidad de adsor-

ción del hidrocarburo. Por su parte, la viscosidad del hidrocarburo también tiene una incidencia significativa sobre la capacidad de adsorción del bagazo, independientemente del contenido de humedad. La tabla 6 refiere este análisis para los ensayos montados.

El comportamiento de los resultados en la tabla 6 permite observar que los porcentajes de incremento de adsorción no son proporcionales a la reducción del contenido de humedad, es decir, no se establece una proporcionalidad directa, aspecto este que pudiera estar vinculado a la variación de viscosidad del hidrocarburo en el momento que se produce el derrame, lo cual reduce la capacidad de adsorción en la estructura del bagazo. Esto obliga a pensar que también la tem-

Tabla 6. Influencia de parámetros externos al contenido de humedad en los niveles de adsorción

Ensayos montados	Humedad promedio (%)	Capacidad de adsorción	% reducción de humedad	% incremento en la capacidad de adsorción
1	47,63	4,39	-	-
2	31,57	4,94	37,72	11,13
3	11,48	5,68	75,90	22,71

peratura ambiente juega un papel importante en la eficiencia de adsorción del hidrocarburo sobre la superficie del bagazo.

El empleo del bagazo integral a la salida del tándem con una humedad aproximada de 50 % es adecuado para el control o mitigación de los derrames de hidrocarburos en suelos, sin que medien procesos de secado, con la elevación concomitante de los costes de proceso. Esto resulta válido durante todo el proceso de zafra donde se dispone de bagazo fresco para su empleo como medio filtrante.

En la figura 1 se muestra el análisis del comportamiento del contenido de humedad (%) vs capacidad de adsorción (%). A los resultados puntuales reportados, se les aplicó un modelo cuadrático para representar su tendencia en el rango permisible que se encuentra la fibra natural bagazo, permitiendo mostrar la influencia del contenido de humedad con respecto a la capacidad de adsorción del mismo.

La gráfica muestra la ecuación cuadrática que se ajusta al modelo, su fuerte tendencia lineal pues el elemento cuadrático posee poca influencia

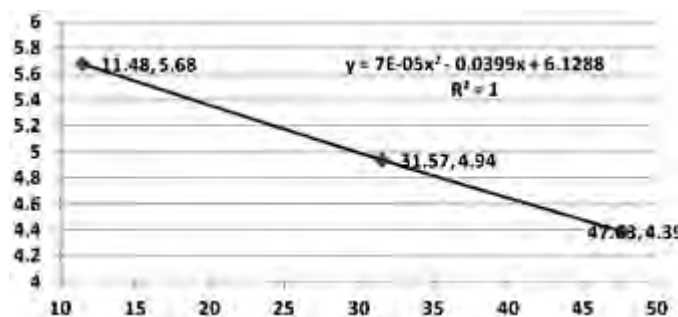


Figura 1. Capacidad de adsorción de hidrocarburo del bagazo vs % humedad.

Tabla 7. Influencia de la humedad en la capacidad de adsorción del bagazo en todo el rango evaluado

Análisis.	Disminución contenido humedad (%)	Capac adsorción total (g hidrc/ g bagazo)
1	50	4,31
2	45	4,48
3	40	4,64
4	35	4,82
5	30	4,99
6	25	5,18
7	20	5,36
8	15	5,55
9	10	5,74
10	5	5,93

en la representación gráfica. El coeficiente de correlación es 1. A partir de este modelo se calculó la capacidad de adsorción del bagazo en todo el espacio muestral de humedades e incluso para un valor puntual elegido. La tabla 7 muestra los valores de adsorción de hidrocarburo en un rango de humedades entre 5 y 50 %.

En la tabla 7 se observa que el crecimiento en la capacidad de adsorción del bagazo integral, aumenta ligeramente con la disminución del contenido de humedad, aunque la humedad no regula la proporción con que esto ocurre, pues una reducción del 90 % en el contenido de humedad, solo permite incrementar la capacidad de adsorción del bagazo en un 27 %.

Posible empleo del bagazo integral como medio de adsorción de hidrocarburo

El impacto sobre el medio ambiente que tiene el empleo del bagazo para controlar o mitigar los derrames de hidrocarburos en las empresas azucareras, puede ser revertido en la generación y cogeneración de energía, multiplicando así su valor agregado con un nuevo impacto económico. La variante más deseada sería el empleo inmediato de la corriente de bagazo en la alimentación de la caldera. Esto permitirá que la mezcla del material absorbente que contiene bagazo más hidrocarburo se queme o combustione en el interior de la caldera, generando así una capacidad de mayor producción de vapor. El diseño de las calderas permite su empleo para este propósito, con excelentes resultados y eficiencia de la combustión.

Otra variante, aunque más costosa, pero que mejora la logística de alimentación, manipulación y almacenamiento, es la densificación o compactación de pequeños bloques con dimensiones previamente concebidas, en la que el hidrocarburo servirá como medio de aglutinación, para facilitar su almacenamiento y transporte hacia otros suministradores. Esta alternativa permite disponer de un combustible de alto valor calórico para el inicio de zafra o para el empleo en cocinas de calentamiento indirecto con alta eficiencia. Para estos casos, no se ha definido aún el tamaño y dimensiones de las briquetas o pacas. A su vez, el bagazo impregnado con el hidrocarburo, no sufre transformaciones ni deterioro, ya que este actúa como medio de protección.

CONCLUSIONES

- 1. Es posible el empleo del bagazo integral en la mitigación de los derrames de hidrocarburo en cuerpos de tierra.
- 2. El bagazo integral con una humedad promedio de 47,63 % y con un tamaño de partícula como

se informó en la tabla 2 puede retener 4,39 g hidrocarburo /g bagazo.

3. El incremento en los contenidos de adsorción no es directamente proporcional a la reducción de humedad. Este aspecto pudiera estar fundamentado por la viscosidad variable del hidrocarburo y la temperatura ambiente a la hora de producirse el derrame, parámetros estos que reducen la capacidad de adsorción en la estructura del bagazo.

RECOMENDACIONES

- Se debe realizar el mismo estudio con bagazo desmedulado para determinar la capacidad de adsorción en estas condiciones.
- Densificar muestras de bagazo y evaluar su capacidad de adsorción tomando los criterios de contenidos de humedad evaluados en esta primera parte.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Derrames de hidrocarburos y medidas de control, artículos de búsquedas en internet, febrero 2013.
 2. Manual sobre la Contaminación Ocasionada por Hidrocarburos, edición 2005, Legislación Ambiental y los Derrames de Hidrocarburos, septiembre 2010.
 3. Derrame de Petróleo, Wikipedia, la enciclopedia libre.
 4. Lezama-Cervantes, C., Tintos-Gómez, A., Patiño-Barragán, M., Hernández-Zárate, G., Chávez-Comparan, C., Pinzón-Guerrero, C.O., Gómez-Clavijo, C., Zamora-Castro, J.E. Capacidad de retención de hidrocarburos empleando subproductos. Revista Latinoamericana de Recursos Naturales 8 (1): 21-29, 2012.
 5. Productos y Servicios, Control de Derrames de Hidrocarburos, SK Ecología S.A. Derrames de hidrocarburos y medidas de control, artículos de búsquedas en internet, febrero 2013.
 6. Triana, O. El Bagazo de la Caña de Azúcar. En: Atlas del Bagazo de la Caña de Azúcar. Única ed. México DF: Impreso en talleres de IMPRENTEI, 1990.
 7. Informe de TAIMWESER, Caracterización del bagazo, junio 2012.
 8. Monografía El almacenamiento de bagazo para la industria de derivados, Instituto Cubano del Libro, 1982.
-



Temperatura y concentración del jugo de caña según pisos climáticos en Ecuador

Walter Quezada-Moreno¹, Irenia Gallardo-Aguilar², Walter Quezada-Torres³

1. Universidad Técnica del Norte. Ciudadela El Olivo. Avenida 17 de Julio, Ibarra, Ecuador.

mfrancisco473@gmail.com

2. Universidad Central de las Villas. Carretera a Camajuaní Km 5.5. Santa Clara, Cuba.

3. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Ibarra.

RESUMEN

Se analiza cómo cambia el punto de ebullición de las soluciones azucaradas según los pisos climáticos. Se corrobora que la temperatura de ebullición del jugo de caña para estos productos, varía de forma directa con la concentración e inversamente con la altitud de ubicación de la fábrica, lo que es una medida de control fácil, rápida y económica.

PALABRAS CLAVE: temperatura, concentración, altura, miel, panela, azúcar.

ABSTRACT

The present paper discusses how to change the boiling point of sugar solutions according to climatic zones. It confirms that the boiling temperature for cane juice for these products varies directly with the concentration and inversely with altitude location of the factory, which is a measure for easy, quick and economic control.

KEYWORDS: temperature, concentration, height, cane, juice, molasses, panela, sugar.

INTRODUCCIÓN

En tratamientos de jugos azucarados, la temperatura es una variable que juega un papel importante para el control del proceso y se evidencia en la calidad del producto final. La relación temperatura, concentración y pureza en soluciones azucaradas, ha sido vía de control efectivo para esta industria. Es conocido que cuando se incrementa la concentración de la solución expresada como grados brix, el punto de ebullición también se incrementa. Los valores de la literatura para las temperaturas de punteo en la producción de miel, panela y azúcar natural son contradictorios teniendo en cuenta que son productos diferentes. En la mayoría de las fábricas de panela de Ecuador se determina la concentración final de la miel mediante medidas subjetivas, donde los productos finales son diversos, especialmente en el color y la textura.

Es reconocido el atraso científico-técnico del sector panelero en Ecuador, se considera más como una producción artesanal que industrial. Las causas son múltiples y van, desde las políticas de estado hasta criterios de calidad del consumidor. No se cuenta con un plan nacional de Desarrollo Agroindustrial [1], aunque en el año 2009 se presentó una propuesta de mejoras, para el periodo 2009-2012 [2], los resultados aún no son evidentes. La nula competencia que presentan los derivados de la agroindustria panelera en el mercado los mantiene en condiciones desfavorables frente a su principal competidor, el azúcar blanco producida en los ingenios azucareros. La falta de tecnificación y control de parámetros de proceso son aspectos descuidados, y ha originado un producto de características poco aceptables para el consumidor. Existe desconocimiento de beneficios nutricionales y medicinales de la panela y sus presentaciones tradicionales, lo que ha contribuido a su

baja competitividad [3]. A parte de la panela y el azúcar natural que se produce, la miel [hidrolizada es otra alternativa que merece atención. La miel hidrolizada es un producto nuevo de calidad, obtenido por concentración del jugo de la caña y constituido por azúcares invertidos y sacarosa; es viscoso y de sabor agridulce, translúcido, soluble en agua y de color café claro brillante o amarillo ámbar [4].

El control de variables en los procesos es determinante en la calidad y el rendimiento de los productos, donde la relación de temperatura y concentración en soluciones azucaradas, ha sido para la industria azucarera una vía de control válida. A medida que se incrementa la concentración de la solución (°Brix), el punto de ebullición también aumenta, es decir, depende de la concentración de la solución [5], de la pureza de la solución [6] y de la presión [7]. El incremento de la temperatura, depende de la altitud sobre el nivel del mar y esta de la presión, pues el punto de ebullición, a nivel del mar, del agua dulce es 100 °C a presión atmosférica [8]. La altitud determina la temperatura ambiente y la presión para establecer condiciones para cultivos de caña según el piso climático (condiciones propias para el desarrollo de un tipo de flora y fauna de acuerdo a niveles de temperatura ambiente que se miden según la altitud de un terreno) [9], variables que deben valorarse para procesos paneleros. La evaporación y la concentración son etapas críticas que suceden en un ingenio azucarero y que no difieren de una agroindustria panelera. La concentración del jugo de la caña tiene una relación directa con la temperatura de ebullición de la solución azucarada [6, 7]. Determinar la temperatura de punteo para miel, panela y azúcar natural, según la ubicación de la planta, resulta importante para que el panelero obtenga productos finales homogéneos en color y dureza.

Estudios *in situ*, hacen referencia a la evolución de la temperatura de todo el proceso del jugo de caña o sólidos solubles en función del tiempo en minutos [10]. A 128 °C de temperatura de punteo se obtuvieron panelas oscuras y a 123°C más claras y con menos intensidad de tonos rojos, cuando se relaciona la temperatura con el tiempo de permanencia [3]. Estos criterios merecen ser valorados con precisión, acerca de las relaciones temperatura-tiempo y concentración-tiempo, ya que la información es efectiva y viable para determinar la eficiencia energética de hornillas, considerando que la cantidad de calor suministrado a un cuerpo reduce el tiempo de concentración, con la salvedad que en un jugo a concentrarse y expuesto a tiempo largos de permanencia, a elevadas temperaturas, la inversión es irreversible así como el deterioro de sus propiedades. En la elaboración de

miel se necesita alcanzar en el fondo del melador 70°Brix y se logra a una temperatura que oscila entre 97 y 98 °C y para panela de 94 °Brix a 116°C [10]. La mayoría de los paneleros determinan la concentración final de la miel mediante medidas subjetivas, valiéndose del color, formación de copos del producto en ebullición, pruebas de tacto, entre otras. La concentración final para la obtención de panela se obtiene a temperaturas entre 118 y 125 °C, con un porcentaje de sólidos entre 88 y 94 °Brix [11] y de 90 o 94 °Brix en el que se alcanza el punto de miel o panela a una temperatura promedio de 120 °C [12], aunque hay autores que indican una temperatura de 120 y 125 °C [13]. La concentración desde 16 o 21 °Brix hasta los 90 o 94 °Brix, punto de miel para panela, se logra a una temperatura promedio de 120 °C, o sacar la miel a una temperatura de 120 a 128 °C y concentración de sólidos solubles de 88 a 94 °Brix [14]. Si para panela en bloque, tradicionalmente se alcanza a un punto de 120 °C, para granular se deja hasta 125 °C aproximadamente [15] y se concentra el jugo desde 18 o 22 °Brix hasta llegar a un valor cercano a los 90°Brix [16]. En todos los casos se hace referencia a valores de temperatura de punteo y concentración, pero en ninguno se indica con certeza a qué altitud de ubicación de la panelera acontece, pues la dependencia temperatura (°C), concentración (°Brix) y altitud en metros sobre el nivel del mar (msnm), es evidente.

La temperatura de ebullición del jugo de caña sucede a 98 y 99 °C en los distritos Kolhapur y Satara de la India, el primero se encuentra alrededor de los 574 msnm y para el segundo en la ciudad de Barquisimeto (98,7 - 99,8 °C), que se encuentra a 560 msnm [17]. En jugos limpios entre 95 y 97 °C, estado Táchira a 1150 msnm, indicando que existe mucha disparidad de criterios al valorar la temperatura de punteo [3], acontece lo propio con el punto de concentración para miel, panela y azúcar natural 130 a 133 °C [18]. Algunos autores, afirman que debe estar entre 124 y 126 °C [19]. Para panela a 118 a 123 °C cuando están entre 90 a 95 Brix, según la altitud [20], lo cual es contradictorio ya que son productos diferentes en cuanto a la concentración; a valores superiores de 130 °C, la inversión de la sacarosa empieza a ser insostenible [6], mientras que a 1710 msnm, se alcanza una temperatura de punteo de 126 °C [19]. La disparidad de valores conlleva a la necesidad de contar con curvas de control a diferentes altitudes para temperatura y concentración del jugo de caña *in situ*, ya que Ecuador continental se encuentra dividido en tres regiones costa, sierra y oriente donde las agroindustrias paneleras están ubicadas a lo largo y ancho del país, a diferentes metros sobre el nivel del mar.

MATERIALES Y MÉTODOS

El control del punto de ebullición de los jugos de caña y concentración para miel, panela y azúcar natural, en diferentes altitudes del Ecuador, donde se cultiva y procesa caña, se valora teniendo en cuenta altitudes entre 200 y 2250 ± 100 metros sobre el nivel del mar (msnm). Para la construcción de las curvas *in situ*, fue necesario determinar fábricas ubicadas en altitudes de: 250; 670; 1150; 1650 y 2250 msnm, medidas con GPS marca Garmin etrex 20. Para la toma de datos en el proceso de la temperatura de ebullición del jugo de caña, miel, panela y azúcar natural, se utilizó un termómetro digital Fisher Scientific con cable y sonda de acero inoxidable de escala -50 a 300 °C y para la concentración de los sólidos solubles en la solución del jugo de caña en grados brix, un refractómetro digital marca Atago de escala 0 a 96 °Brix. En las agroindustrias paneleras, las etapas en la producción de panela y azúcar natural que se llevan a cabo de forma discontinua comprenden la extracción del jugo de caña, donde se obtiene bagazo que es utilizado como combustible en el proceso. Se separan los sólidos por sedimentación, luego se clarifica utilizando mucílagos naturales y/o sustancias químicas, que tienen la función de aglutinar los no azúcares para que floten y separarlos en forma de cachaza. La concentración del jugo sucede en la evaporación y cocimiento, hasta alcanzar una miel, como miel hidrolizada o lista para batir y obtener panela o azúcar. Para miel hidrolizada, después del

proceso de clarificación, se acidifica el jugo, se evapora, se concentra hasta punto de miel, se enfria y se envasa. El producto debe tener características muy similares a la miel de abejas recién extraída, en cuanto a su densidad, viscosidad y estabilidad en el tiempo. El proceso en la producción de la panela y el azúcar natural se muestran en la figura 1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En Ecuador existen paneleras que están ubicadas hasta los 2350 msnm, como es el caso de la panelera Gardenia, en Imbabura. El punto de ebullición para 22 °Brix de concentración inicial del jugo de caña utilizado en el estudio y las temperaturas obtenidas a diferentes concentraciones de los productos finales para miel hidrolizada, panela y azúcar natural según la altitud de ubicación de la fábrica, se muestran en la tabla 1.

A una determinada concentración, el punto de ebullición del jugo de caña aumenta al disminuir la altitud de ubicación de la planta. Según el orden de altitud de 200; 670; 1150; 1650 y 2250 ± 100 msnm, para la miel hidrolizada a una concentración de $76 \pm 1^\circ\text{Brix}$, las temperaturas son 111; 110; 109; 107 y 104 °C. Para panela de $90 \pm 1^\circ\text{B}$, corresponden temperaturas de 125; 124; 122; 120 y 118 °C y para azúcar natural de $95 \pm 0,5^\circ\text{B}$ le pertenecen valores de 130; 127; 126; 125 y 124 °C, respectivamente. El comportamiento de los resultados se valoran en la figura 2.

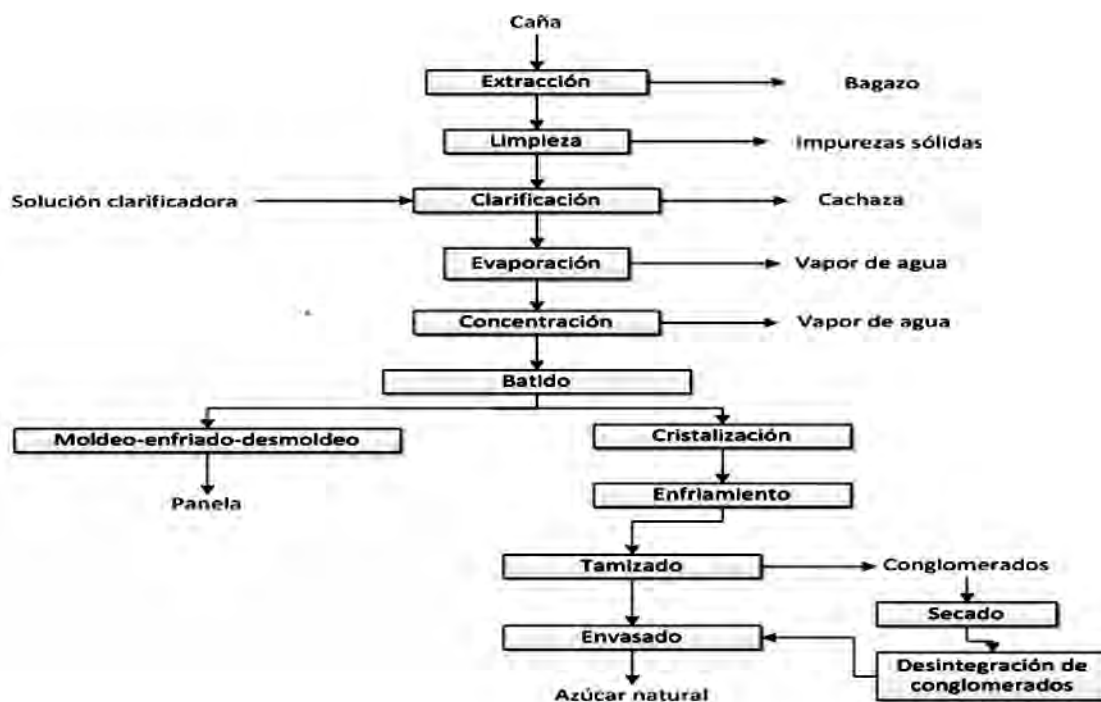


Figura 1. Etapas de proceso par la panela y el azúcar natural.

Tabla 1. Temperatura y concentración, según la altura de ubicación de la panelera

Temp . (°C)	Sólidos solubles (°Bx) según ubicación paneleras (msnm)				
	200	670	1150	1650	2250
93					22
94,5					37
95				22	44
96				32	50
97			22	43	57
98			35	51	61
99		22	42	56	65
100		32	49	60	68
101	22	42	56	64	71
102	40	49	60	67	73
103	48	56	64	70	75
104	55	60	67	72	76
105	60	65	69	74	77
106	65	68	71	75	78
107	67	70	73	76	79
108	70	72	75	78	80
109	72	74	76	79	81
110	74	76	78	80	82
111	76	78	79	81	84
112	77	79	80	83	85
113	79	80	82	84	86
114	80	82	83	85	87
116	82	83	85	87	89
118	84	85	86	88	90
120	85	87	88	90	92
122	87	89	90	92	94
124	89	90	92	94	95
125	90	92	94	95	96
126	91	94	95	96	97
127	92	95	96	97	98
130	95	96	97	98	99

El comportamiento de las curvas de calentamiento muestra un incremento en la concentración de la solución, en función del aumento de la temperatura del jugo; lo que aparece reflejado en la literatura clásica de la industria azucarera y resulta inversamente proporcional a la altitud donde se encuentre la fábrica. Estos resultados no han sido considerados en la agroindustria panelera del Ecuador, sobre todo la altitud, de la que existen divergencias de criterios con relación a estos parámetros, que no han sido definidos para productos finales que se obtienen en la agroindustria panelera.

Se debe destacar que el objetivo no es evitar el engorroso procedimiento que implica la realización de las curvas de concentración-temperatura a

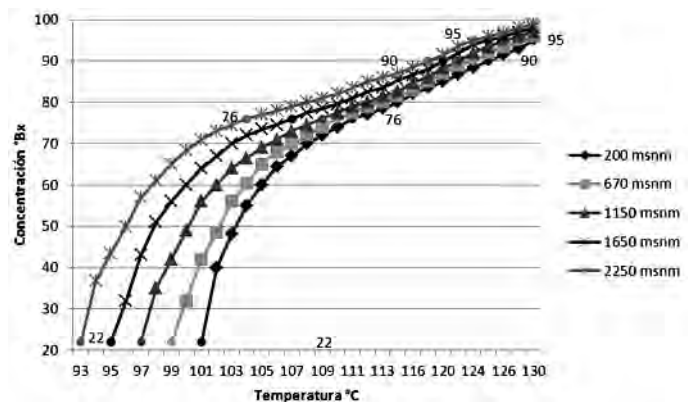


Figura 2. Temperatura de ebullición y concentración de miel, panela y azúcar.

distintas altitudes, que es inevitable para conocer en detalle el comportamiento de la concentración del jugo de caña a miel. El hecho de contar con aproximaciones de curvas, puede resultar suficiente para el panelero como información primaria del comportamiento y de la concentración del producto respecto a la temperatura del producto a la cuál debe llegar, para su punteo final.

La influencia de estas variables son determinantes en la calidad de los productos y pueden ser una herramienta fundamental para el control de las mismas, con fines de competitividad respaldados por criterios técnicos, bajo la orientación de las curvas básicas de concentración.

CONCLUSIONES

Es elemental para el panelero ecuatoriano el punto de ebullición del jugo de caña y la concentración de la miel, según la altitud de ubicación de la panelera, en la elaboración de miel hidrolizada, panela y azúcar natural, para controlar las variables en el proceso y fabricación de productos finales, nutritivos y de calidad, especialmente por el color y la textura.

Se corrobora que la temperatura de ebullición del jugo de caña para los productos como miel hidrolizada, panela y azúcar natural, varía de forma directa con la concentración e inversamente con la altitud de ubicación de la fábrica.

Las curvas obtenidas permiten ajustar las temperaturas de ebullición para los análisis de ingeniería, según las diferentes altitudes en Ecuador.

A diferentes altitudes sobre el nivel del mar, el control de la temperatura en los procesos para obtener edulcorantes en una panelera, es una medida de control fácil, rápida y económica a diferencia de la concentración.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. MAG. La Agroindustria en el Ecuador. Un Diagnóstico Integral. [En línea]. Ministerio de Agricultura y Ganadería, MAG. Con el apoyo del IICA. Quito, Ecuador. 2006. 5p. ? <http://www.iica.int/Esp/organizacion/LTGC/agroindustria/Documentos%20Agroindustria%20Rural/La%20agroindustria%20en%20el%20Ecuador.%20Un%20diagn%C3%B3stico%20integral.pdf?> [Consulta: 9 octubre 2013].
2. MIC. Plan nacional de Desarrollo agroindustrial. Ministerio de Industrias y Competitividad MIC. Ecuador, 6p, 2009.
3. Mujica, M.; Guerra, M.; Soto, N. Efecto de la variedad, lavado de la caña y temperatura de punteo sobre la calidad de la panela granulada. [En línea]. Interciencia. 33(8). Universidad Simón Bolívar y del FONACIT. Venezuela. 598-599p. 2008. ?<http://www.panelamonitor.org/media/docrepo/document/files/efecto-de-la-variedad-lavado-de-la-cana-y-temperatura-de-punteo-sobre-la-calidad-de-la-panela-granulada.pdf?> [Consulta: 4 Noviembre 2013].
4. Quezada, W. Guía Técnica de Agroindustria Panelera. Guía de estudio. Universidad Técnica del Norte. Ibarra- Ecuador. Creadores Gráficos. 14, 40, 41p. 2007.
5. Chen, James. Manual del azúcar de caña. Primera edición. Noriega Editores. México. Editorial LIMUSA.. 237, 276p. 1991.
6. Hugot, E. Manual para Ingenieros Azucareros. Séptima reimpresión. México. Editorial Continental. CECSA. 436, 341p. 1984.
7. Spencer-Meade. Manual del azúcar de caña. España. 342p. 1967.
8. More; Stanitski; Wood; Kotz. El mundo de la Química. Conceptos y aplicaciones. Segunda edición. México. Editorial Pearson. 745p. 2000.
9. Ministerio del Ambiente. Diagnóstico preliminar Gestión de la calidad del aire Ecuador. [En línea]. 2003. 13,14p. ?<http://www.bvsde.paho.org/bvsci/fulltext/ecuador/ecuador.pdf?> [Consulta: 15 Dic. 2013].
10. Pérez, A.; Ablan E. Medición in situ de los valores de las principales variables asociadas al proceso de fabricación de miel y panela de caña de azúcar (*Saccharum spp. híbrido*). [En línea]. Revista Facultad Farmacia. Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. 50(2). 2-8. 2009. ?www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/29298/1/articulo1.pdf? [Consulta: 19 Diciembre 2013].
11. Collaguazo, K.; Játiva, J. Construcción de un prototipo mecánico de batido para mejorar el proceso de producción de panela granulada artesanal. Escuela Politécnica Nacional. Tesis, Quito. 41p. 2007.
12. Mosquera, S.; Carrera, J.; Vallada, H. Variables that affect the quality of the processed panela in the department of Cauca. [En línea]. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Facultad del Cauca. Colombia. 23, 26p. 5(1). 2007. ? <http://es.scribd.com/doc/210419297/Variables-Que-Afectan-La-Calidad-de-La-Panela?> [Consulta: 20 septiembre, 2013].
13. Osorio, G. Manual técnico buenas prácticas agrícolas BPA- y buenas prácticas de manufactura -BPM en la producción de caña y panela. CORPOICA, MANA, FAO. Colombia.. 11,113p. 2007.
14. García, van Zanten. Elaboración de panela granulada. CORPOICA. Colombia. 2003. 6p.
15. FEDEPANELA. Guía ambiental para el subsector panelero. Ministerio del Medio Ambiente. Dirección Ambiental Sectorial. Colombia. 2002. 30, 34p.
16. Pawar, S.; Dongare, M. Scientific studies on jaggery manufacturing process. [En línea]. Cooperative Sugar, 2001. 32 (5). 369, 374p. ? <http://www.scopus.com/record/display.url?eid=2-s2.0-54849404708&origin=inward&txGid=78902D1A0097FA81BAA37B02A9AFF5AD.y7ESLndDIsN8cE7qwvy6w%3a2?> [Consulta: 10 enero 2014].
17. García, H.; Peña, A.; López, R.; Duran, E.; Olvera, G. Desarrollo de un sistema de evaporación y concentración de jugos de múltiple efecto para mejorar la eficiencia térmica y productividad y disminuir el impacto ambiental en la producción de panela. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - CORPOICA, Industrias Químicas FIQ y Manantial Dulce - MANDUL. Colombia,. 2p. 2010.
18. Rivero, C.; Torres, C. Evaluación de mucílagos vegetales como agentes clarificantes del jugo de caña. Trabajo Especial. Universidad Nacional Experimental Politécnica "Antonio José de Sucre". Barquisimeto, Venezuela,. 113 p. 2000.
19. Culqui, E.; Zumaeta, D. Optimización de pH, aglutinante y temperatura de punteo para minimizar el color de la panela orgánica en la planta procesadora de Valera -La Coca, Provincia de Bongará, región Amazonas-2010, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Tesis título ingeniero agroindustrial. Chachapoyas. Perú,. 57p. 2011.
20. González, C. Estudio del proceso de producción de panela en la Finca Berlín. [En línea]. Corporación Universitaria Minuto de Dios. Facultad de Ciencias Empresariales. Trabajo de grado. Bogotá, 11p. 2009. ?<http://www.panelamonitor.org/media/docrepo/document/files/estudio-del-proceso-de-produccion-de-panela-en-la-finca-berlin.pdf?> [Consulta: 10 enero 2014].

Producción de proteínas recombinantes en *Bacillus megaterium*: estado del arte

Keyla Tortoló-Cabañas, Antonio Bell-García

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)
Vía Blanca 804 y Carretera Central, La Habana. Cuba.
keyla.tortolo@icidca.azcuba.cu

RESUMEN

Se recoge una actualización del estado del arte del uso de *Bacillus megaterium* como hospedero para la expresión de proteínas recombinantes, las características de este microorganismo, así como las consideraciones generales y algunos aspectos a tener en cuenta.

PALABRAS CLAVE: *Bacillus megaterium*, proteínas recombinantes, dextranasacarasa.

ABSTRACT

This paper updates about the art state of the use of Bacillus megaterium as a host for recombinant proteins, where the characteristics of this organism, as well as general considerations and aspects to consider.

KEYWORDS: *Bacillus megaterium*, recombinant protein, dextranase.

INTRODUCCIÓN

El uso de *Bacillus megaterium* como hospedero para la expresión de proteínas recombinantes es un hecho que ha ido aumentando en los últimos años. Los estudios para obtener dextranasacarasa recombinante a partir de *B. megaterium* en ausencia de sacarosa, resultan más bien escasos, hasta este momento. Este hecho puede significar una alternativa para producir la enzima libre de dextrana a escala industrial.

El empleo de proteínas recombinantes en diferentes industrias ha ido ganando en importancia con el tiempo. En los últimos años se han utilizado hospederos bacterianos para la producción de proteínas recombinantes de una manera más económica [1].

Dentro de los hospederos bacterianos que se utilizan para este propósito se encuentra el *Bacillus megaterium*, el que ha sido industrialmente empleado durante más de 50 años, ya que posee elevada capacidad para la producción de exoenzimas. En comparación con otros microorganismos tales como *Bacillus subtilis* y *Escherichia*

coli ofrece muchas ventajas para ser utilizado como sistema de producción de proteínas [2, 3].

Para maximizar la capacidad de *B. megaterium* de secretar enzimas al medio, se han construido una serie de vectores. Por ejemplo se ha informado la obtención de una levanosacarasa de *Lactobacillus reuteri* cepa 121 en *B. megaterium* [4]. Por otra parte se han realizado estudios para la obtención de una penicilina G Acilasa recombinante (PGA) [5]. Adicionalmente se ha informado acerca de la obtención de dextranasacarasa recombinante utilizando también como hospedero al *B. megaterium*. Esta enzima de manera natural se obtiene por el *Leuconostoc mesenteroides* que la secreta al medio de crecimiento durante el cultivo con sacarosa como inductor de su expresión [6].

Las dextranasacarasas (EC 2.4.1.5) son enzimas extracelulares asociadas a la célula o solubles. Catalizan la síntesis de glucanos de alto peso molecular a partir de sacarosa [7]. Dependiendo de la cepa productora de dextranasacarasa que se utilice se obtendrán diferentes tipos de glucanos con diferentes tamaños y estructuras [8].

El estudio de la bibliografía referente a esta temática, resulta un aspecto imprescindible para poder aspirar a investigaciones que persigan como objetivo la obtención de esta enzima recombinante en este hospedero. En este artículo se pretende recoger algunos aspectos actualizados de este tema.

***Bacillus megaterium*. Características generales**

Bacillus megaterium es una bacteria Gram-positiva, aeróbica [9], descrita por primera vez por De Bary en el año 1884 y denominada por él mismo como "la gran bestia", este microorganismo es una de las bacterias más grandes (4 x 1,5 µm). Su nombre viene dado por su gran tamaño, "megat(h)erium" en griego significa animal grande, ocupa un volumen aproximadamente 100 veces mayor que *Escherichia coli* [10].

Debido a las dimensiones de la forma vegetativa y esporas, *B. megaterium* resulta muy adecuado para investigaciones morfológicas, tales como la biosíntesis de la pared celular y la membrana citoplasmática, la esporulación, estructura de las esporas y la organización celular, la partición de ADN y la localización de proteínas [11]. En la década de 1960, *B. megaterium* fue el organismo modelo usado para estudios sobre la esporulación, ya que esporula y germina muy eficientemente [12]. Adicionalmente ha sido declarado como microorganismo ideal para estudios de la estructura celular, la membrana y la localización de proteínas [13].

Es por otra parte, una bacteria que puede encontrarse principalmente en el suelo pero también ha sido identificada en diversos ambientes como pueden ser arrozales o alimentos secos, agua de mar, sedimentos, pescado o incluso en la miel de abeja [2]. Puede crecer en una amplia variedad de fuentes de carbono por lo que se pueden utilizar medios simples garantizando bajos costos por este concepto [9].

Diversas aplicaciones del *Bacillus megaterium*

El conjunto de ventajas que ofrece *B. megaterium* lo han convertido en un organismo ideal para la industria desde hace más de 50 años.

Varios autores señalan a *B. megaterium* como uno de los primeros productores biotecnológicos de vitamina B12 [9, 11], debido a su capacidad para sintetizar esta vitamina tanto en presencia como en ausencia de oxígeno [14]. Esta capacidad natural del bacilo para producir vitamina B12 se ha combinado con herramientas biotecnológicas, desarrolladas para este microorganismo, que han mejorado los rendimientos de esta vitamina intracelularmente, además se han llevado a cabo investigaciones donde se ponen a prueba una serie de estrategias para producir esta vitamina [15].

Por otra parte se han encontrado informes de diversos autores que utilizan varios géneros de bacilos para la producción de Polihidroxibutirato (PHB) en diferentes condiciones de cultivo. *B. megaterium* se incluye dentro de este grupo debido a su capacidad para acumular PHB [16]. Se ha informado la producción y caracterización de PHB por *B. megaterium* a partir de melazas y licor de maíz fermentado obteniendo producciones de PHB de hasta 43 % (p/p) con respecto a la materia seca, después de 45 horas de crecimiento [17]. Por otra parte otros autores han investigado acerca de la producción de PHB a partir de una cepa de *B. subtilis* y una de *B. megaterium* en caldo nutriente como medio de cultivo a diferentes tiempos de incubación, alcanzando buenos resultados entre 45 y 48 horas [18].

Se han encontrado resultados en la producción de anticuerpos recombinantes utilizando también *B. megaterium* [19]. Otros autores informan acerca de la utilización de una cepa de *B. megaterium* aislada de las hojas de *Avicennia marina* para la producción extracelular de α -amilasa [20].

***Bacillus megaterium* como hospedero para la producción de proteínas recombinantes**

Es de suponer que para valorar un huésped heterólogo como positivo se deban obtener elevados niveles del producto del gen clonado.

La bacteria *Escherichia coli* ha jugado un papel importante en la producción de una gran cantidad de proteínas heterólogas debido a la gran cantidad de investigaciones que se han realizado a lo largo de las últimas décadas. A pesar de esto, la producción de proteínas en *E. coli* se ve restringida por problemas intrínsecos de este microorganismo. A modo de ejemplo carece de mecanismos que le permitan la exportación de proteínas por tanto las que se producen se acumulan intracelularmente, en su mayoría en forma inactiva o como cuerpos de inclusión debido a las elevadas concentraciones presentes [3].

En comparación con *E. coli*, *B. megaterium* tiene una elevada capacidad de secreción y carece de endotoxinas asociadas a la membrana externa lo cual facilita su uso en alimentos y producción de productos farmacéuticos [21]. Además se pueden obtener grandes cantidades de proteínas funcionales intactas con pequeñas degradaciones o sin estas [22].

Por esta razón durante los últimos años, el uso de *B. megaterium* en el campo de la biotecnología ha ganado en popularidad pues ofrece varias ventajas sobre otros huéspedes para la producción de proteínas recombinantes. Importantes requisitos previos para una aplicación biotecnológica de este organismo incluyen un sistema de transformación

eficiente, múltiples plásmidos compatibles, libremente replicantes y la posibilidad de integrar genes heterólogos en el genoma [23, 24].

La producción de penicilina amidasa a partir de *B. megaterium* ha sido informada desde el año 1973 [25]. Más recientemente un colectivo de investigadores ha conseguido elevados rendimientos en la producción y exportación al medio de crecimiento de Penicilina G Amidasa recombinante (PGA) utilizando *B. megaterium* y se ha alcanzado productividades de hasta 40 mg por litro de medio de cultivo [5].

La producción y exportación al medio de crecimiento de una enzima levanosacarasa de *Lactobacillus reuteri* a partir de *B. megaterium* es otro de los ejemplos que demuestran la aplicación de este microorganismo [4].

En la actualidad la información disponible acerca de la obtención de dextranasacarasa recombinantes a partir de *B. megaterium* bajo diferentes condiciones y medios de cultivo bajo la acción de un inductor específico como es la xilosa, resulta insuficiente.

La producción y secreción al medio de cultivo de la dextranasacarasa recombinante DsrS ha sido estudiada por Malten *et al* [26], empleando para la síntesis de la misma el gen aislado de *Leuconostoc mesenteroides* NRRL B-512F [27], en *B. megaterium* como hospedero, induciendo su expresión con la adición de xilosa en el medio de cultivo, tanto a nivel de frascos agitados como en biorreactores [26]. Otros autores han realizado estudios similares acerca de la obtención de esta enzima [3].

Dichos estudios pudieran significar una variante ventajosa para la producción a grandes escalas de la enzima DsrS semipurificada, obteniendo cantidades de enzimas similares a las que se obtiene a partir de *Leuconostoc mesenteroides* NRRL B-512F [3, 26].

Enzima dextranasacarasa. Características esenciales y usos

Las dextranasacarasa (EC 2.4.1.5), son glucanosacarasa GSs; también conocidas como glucosiltransferasa GTFS que pertenecen a la familia 70 de las glucosidohidrolasas (GH70) de acuerdo con el sistema de clasificación CAZy que se basa en la similitud de secuencias de aminoácidos. Son enzimas extracelulares de pesos moleculares típicamente altos en el intervalo de 120-200 kDa, aunque unas pocas son incluso más grandes [28]. Pueden encontrarse también asociadas a la célula [29].

Sintetizan una amplia variedad de polímeros α -glucanos, tal como dextrano y oligosacáridos. Los α -glucanos se sintetizan a través de la adición por

etapas de restos de glucosa a una cadena α -glucano en crecimiento. Estos polímeros pueden diferir en el tipo de enlace α -glicosídico que conecta las unidades de glucosa (1 $\rightarrow$ 2, 1 $\rightarrow$ 3, 1 $\rightarrow$ 4 o 1 $\rightarrow$ 6), y poseen además varios tipos, masas y grados de ramificación. A menudo dos tipos de enlaces glicosídicos están presentes en estos α -glucanos [30].

El conocimiento detallado de la reacción y la especificidad del producto de las GSs es esencial para la aplicación de estas enzimas y sus productos en aplicaciones de salud y alimentos [31-33]. Las diversas estructuras α -glucanos producidas por las GSs difieren mucho en sus propiedades físico-químicas, cada una de sus funcionalidades potenciales pueden ser valiosas en aplicaciones tales como alimentos, cosméticos, medicina, investigación, etc. [33, 34].

Una de las alternativas para el uso de las GSs (purificadas) es como biocatalizador, lo que conlleva a un estricto control sobre el pH, la temperatura y la relación del sustrato y la enzima, del sustrato y el aceptor (ejemplo maltosa) y por lo tanto el control sobre la masa molecular de los α -glucanos sintetizados [35]. Para reducir el costo del biocatalizador (GS) la producción de enzimas se ha mejorado con éxito empleando la expresión heteróloga en *Escherichia coli* [36]. Cabría esperarse que los niveles de expresión fuesen mayores cuando se emplean *Bacillus* spp como huéspedes [4].

CONSIDERACIONES GENERALES

La presencia de sacarosa en los medios de fermentación garantiza una propagación adecuada de las bacterias del género *Leuconostoc*, así como la producción y secreción de la enzima dextranasacarasa al medio de cultivo [6], la cual emplea este mismo sustrato para la síntesis de dextrana. Aumentando de esta manera la estabilidad y el tiempo de vida media de la enzima, pero se dificulta la obtención de enzima purificada o semipurificada, y por tanto pudiera verse igualmente afectado la obtención de un polímero con mayor grado de pureza. Con este fin la producción de enzimas recombinantes proporciona una opción interesante [3, 26].

Estudios recientes han demostrado la posibilidad de obtener la enzima dextranasacarasa utilizando al *B. megaterium* como hospedero, en presencia de xilosa como inductor para la producción de la misma, manejando diferentes condiciones de cultivo en diferentes medios. A pesar de haberse obtenido resultados positivos hay que señalar que los niveles de dextranasacarasa informados, en gran medida se encuentra asociados a la célula, las cantidades detectadas en el medio de crecimiento son mínimas [3, 26].

Existen informes en la literatura donde se hace alusión a diferentes causas probables de este último resultado. Por ejemplo Hollman [3] lo relaciona con el gran tamaño de la enzima, lo que dificulta su secreción al medio de crecimiento. Por otra parte Malten *et al* [26], identificaron una mejora en el crecimiento de la cepa y la producción de la enzima, con la adición al medio de crecimiento de extracto de levadura a una concentración de 0,5 g.L⁻¹; a diferencia del empleo de 4 g.L⁻¹ de este nutriente. Sin embargo para cualquier variante estudiada, la mejor actividad DsrS se

obtuvo asociada a la célula, señalando como obstáculo principal las cantidades de enzima mal plegada tanto intracelular como extracelular.

A pesar de las ventajas que teóricamente ofrece el *B. megaterium* para ser utilizado como hospedero en la producción y secreción al medio de crecimiento de proteínas recombinantes, los resultados obtenidos en este sentido para la enzima dextranasacarasa no son los deseados, por lo que la continuidad de estudios para esclarecer estos temas resulta imprescindible.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Stammen, S.; Müller, B.K.; Korneli, C.; Biedendieck, R.; Gamer, M.; Franco-Lara, E.; et al. High-Yield Intra- and Extracellular Protein Production Using *Bacillus megaterium*. *Appl Environm Microbiol* 76(12): 4037-4046, 2010.
2. Vary, P. Prime time for *Bacillus megaterium*. *Microbiology* 140: 1001-1013, 1994.
3. Hollmann, R.; Malten, M.; Biedendieck, R.; Yang, Y.; Wang, W.; Jahn, D.; et al. *Bacillus megaterium* as a Host for Recombinant Protein Production. *Eng. Life Sci* 6 (5): 470-474, 2006.
4. Biedendieck, R.; Beine, R.; Gamer, M.; Jordan, E.; Buchholz, K.; Seibel, J.; et al. Export, purification, and activities of affinity tagged *Lactobacillus reuteri* levansucrase produced by *Bacillus megaterium*. *Appl Microbiol Biotechnol* 74:1062-1073, 2007.
5. Yang, Y.; Biedendieck, R.; Wang, W.; Gamer, M.; Malten, M.; Jahn, D.; et al. High yield recombinant penicillin G amidase production and export into the growth medium using *Bacillus megaterium*. *Microb Cell Fact* 5:36, 2006.
6. Robyt, J.F.; Walseth, T.F. Production, purification, and properties of dextranase from *Leuconostoc mesenteroides* NRRL B-512F. *Carbohydr Res* 68(1): 95- 111, 1979.
7. Fraga, R.; Martínez, A.; Moulis, C.; Escalier, P.; Morel, S.; Remaud-Simeon, M.; et al. A novel dextranase is produced by *Leuconostoc citreum* strain B/110-1-2: an isolate used for the industrial production of dextran and dextran derivatives. *J Ind Microbiol Biotechnol* 38:1499-1506, 2011.
8. Seymour, F.R.; Knapp, R.D. Structural analysis of dextrans from strains of *Leuconostoc* and related genera that contain 3-O- α glucosylated-D-glucopyranosyl residues at the branched points or in consecutive linear position. *Carbohydr Res* 81: 105-129, 1980.
9. Vary, P.S.; Biedendieck, R.; Fuerch, T.; Meinhardt, F.; Rohde, M.; Deckwer, W.D.; et al. *Bacillus megaterium*-from simple soil bacterium to industrial protein production host. *Appl Microbiol Biotechnol* 76: 957-967, 2007.
10. Bary, A. D. Vergleichende Morphologie und Biologie der Pilze, Mycetozoen und Bakterien. Leipzig, Germany: Wilhelm Engelmann, 1884.
11. Vary, P. Biology of bacilli: application to industry. Boston (MA):Butterworths-Heinemann, 1992.
12. Bunk, B.; Biedendieck, R.; Jahn, D.; Vary, P.S. Industrial production by *Bacillus megaterium* and other Bacilli. *Encyclopedia of Industrial Biotechnology: Bioprocess, Bioseparation, and Cell Technology*. 1, 2009.
13. McCool, G.J.; Cannon, M.C. Pha C and Pha R are required for polyhydroxy alkanoic acid synthase activity in *Bacillus megaterium*. *J. Bacteriol* 183: 4235-4243, 2001.
14. Raux, E. ; Lanois, A. ; Warren, M.J. ; Rambach, A.; Thermes, C. Cobalamin (vitamin B 12) biosynthesis: identification and characterization of a *Bacillus megaterium* cobI operon. *Biochem J* 335: 159-166, 1998.
15. Biedendieck, R.; Malten, M.; Barg, H.; Bunk, B.; Martens, J.H.; Derry, E.; et al. Metabolic engineering of cobalamin (vitamin B 12) production in *Bacillus megaterium*. *Microb Biotechnol*, 3(1):24-37, 2009.
16. Hori, K. ; Kaneko, M. ; Tanji, Y. ; Xing, X.H.; Unno, H. Construction of self-disruptive *Bacillus megaterium* in response to substrate exhaustion for polyhydroxybutyrate production. *Appl. Microbiol. Biotechnol* 59: 211-216, 2002.

17. Chaijamrus, S.; Udpuay, N. Production and Characterization of Polyhydroxybutyrate from Molasses and Corn Steep Liquor produced by *Bacillus megaterium* ATCC 6748. *Agric Eng Int X*, 2008.
 18. Nur Yüksekdağ, Z.; Aslim, B.; Beyatlı, Y.; Mercan, N. Effect of carbon and nitrogen sources and incubation times on poly-beta-hydroxybutyrate (PHB) synthesis by *Bacillus subtilis* 25 and *Bacillus megaterium* 12. *African J Biotechnol* 3 (1): 63-66, 2004.
 19. Jordan, E.; Hust, M.; Roth, A.; Biedendieck, R.; Schirrmann, T.; Jahn, D.; *et al.* Production of recombinant antibody fragments in *Bacillus megaterium*. *Microb Cell Factories* 6: 2, 2007.
 20. Gurudeeban, S.; Satyavani, K.; Ramanathan, T. Production of Extra Cellular α -amylase using *Bacillus megaterium* isolated from White Mangrove (*Avicennia marina*). *Asian J Biotechnol* 3(3): 310-316, 2011.
 21. Biedendieck, R.; Bunk, B.; Fürch, T.; Franco-Lara, E.; Jahn, M.; Jahn, D. Systems Biology of Recombinant Protein Production in *Bacillus megaterium*. *Adv Biochem Eng/Biotechnol*, 2010.
 22. Kim, J.Y. Overproduction and secretion of *Bacillus circulans* endo- β -1, 3-1, 4-glucanase gene (bglBC1) in *B. subtilis* and *B. megaterium*. *Biotechnol Lett* 25:1445-1449, 2003.
 23. Barg, H.; Malten, M.; Jahn, M.; Jahn D. Protein and vitamin production in *Bacillus megaterium*. In *Microbial Processes and Products*. Edited by: Barredo JL. Totowa, Humana Press Inc.; 2005:165-184.
 24. Rygus, T.; Scheler, A.; Allmansberger, R.; Hillen, W. Molecular cloning, structure, promoters and regulatory elements for transcription of the *Bacillus megaterium* encoded regulon for xylose utilization. *Arch Microbiol* 55: 535-542, 1991.
 25. Acevedo, F.; Cooney, C.L. Pencillin amidase production by *Bacillus megaterium*. *Biotechnol Bioeng* 15: 493-503, 1973.
 26. Malten, M.; Hollmann, R.; Deckwer, W.D.; Jahn, D. Production and Secretion of Recombinant *Leuconostoc mesenteroides* Dextranase DsrS in *Bacillus megaterium*. *Biotechnol Bioeng* 89 (2): 206-218, 2005.
 27. Buchholz, K.; Monsan, P. *Handbook of Food Enzymology*. New York, Marcel Dekker. 2002.
 28. Cantarel, B.L.; Coutinho, P.M.; Rancurel, C.; Bernard, T.; Lombard, V.; Henrissat, B. The Carbohydrate-Active EnZymes database (CAZy): an expert resource for glycogenomics. *Nucleic Acids Research* 37:233-238, 2009.
 29. Janecek, S.; Svensson, B.; Russell, R.R.B. Location of repeat elements in glucanases of *Leuconostoc* and *Streptococcus* species. *FEMS Microbiol Letters* 192:53-57, 2000.
 30. Leemhuis, H.; Pijning, T.; Dobruchowska, J. M.; van Leeuwen, S. S.; Kralj, S.; Dijkstra, B. W.; *et al.* Glucanases: Three-dimensional structures, reactions, mechanism, α -glucan analysis and their implications in biotechnology and food applications. *J Biotechnology* 163 250- 272, 2013.
 31. Iliev, I.; Ivanova, I.; Ignatova, C. Glucanases from lactic acid bacteria (LAB). *Biotechnol Biotechnological Equipment* 20:15-20, 2006.
 32. Patel, A.K.; Michaud, P.; Singhania, R.R.; Soccol, C.R.; Pandey, A. Polysaccharides from probiotics: new developments as food additives. *Food Technol Biotechnol* 48: 451-463, 2010.
 33. Badel, S.; Bernardi, T.; Michaud, P. New perspectives for Lactobacilli exopolysaccharides. *Biotechnol Adv* 29:54-66, 2011.
 34. Kumar, A.S.; Mody, K.; Jha, B. Bacterial exopolysaccharides - a perception. *J Basic Microbiol* 47:103-117, 2007.
 35. Falconer, D.J.; Mukerjee, R.; Robyt, J.F. Biosynthesis of dextrans with different molecular weights by selecting the concentration of *Leuconostoc mesenteroides* B-512FMC dextranase, the sucrose concentration, and the temperature. *Carbohydr Res* 346:280-284, 2011.
 36. Swistowska, A.M.; Wittrock, S.; Collisi, W.; Hofer, B. Heterologous hyper-expression of a glucanase-type glycosyltransferase gene. *Appl Microbiol Biotechnol* 79: 255-261, 2008.
-

Efecto de la edad y la época del año en la calidad de la caña luego del corte

Susana Ravelo-Bravo, Eduardo Lorenzo Ramos-Suarez

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)
Vía Blanca 804 y Carretera Central, La Habana, Cuba
susana.ravelo @ icidcamy.azcuba.cu

RESUMEN

Se muestran de forma sintética los problemas actuales que presentan las nuevas variedades de caña, con énfasis en las amenazas climáticas y ambientales, destacándose el papel que puede desempeñar la agroindustria de la caña de azúcar. Se demuestra la importancia de la caña de azúcar y de su agroindustria en las condiciones de Cuba, ya que se valora el efecto de la edad de la caña y la época del año en que se realiza su corte, sobre los niveles de oligosacáridos en cuatro variedades de caña. Se observa que en todas las variedades se aumenta la concentración de oligosacáridos en sus jugos cuando se combinan las mayores edades de la caña con las épocas de alta humedad ambiental.

PALABRAS CLAVE: caña, época, deterioro, oligosacáridos, cristales agujas, eficiencia.

ABSTRACT

It is show in a synthetic way the present-day problems that are observed in the new cane varieties with emphasis on climate and atmospheric threats, highlighting the role that could be play the sugar cane industry, it is show the importance of the sugar cane quality and its agro industry for the condition of Cuba, so it is take the effect of the year spoke to make it is cut and the level of oligosaccharides for fore cane varieties. It is observed that all augment the concentration of oligosaccharides in their juice when it is combine the cane age with the high humilities.

KEYWORDS: sugarcane, deterioration, oligosaccharides, epoch, efficiency, needles-like

INTRODUCCIÓN

La calidad de la caña debe ser descrita no sólo por la riqueza en sacarosa que posea una variedad dada en su período de madurez, si es que se desea producir azúcar de manera eficiente y de calidad. Para seleccionar una variedad dada o incluso decidir el momento óptimo de su corte debe tomarse en consideración el contenido en sus jugos de otros Azúcares que Impurifican la Sacarosa [1, 2], que nombraremos como AIS, que pueden impedir la cristalización o el recobrado de la sacarosa originalmente presente en la misma [2-6]. Estos resultados obligan a conocer en detalles que factores,

además de las propias características de la variedad [7, 8], están asociados a la aparición de estos AIS en los jugos de caña.

Según los estudios realizados, resulta evidente que los principales factores que pueden determinar el nivel de AIS (azúcares que impurifican la sacarosa) en los jugos de caña frescas son: la variedad, la edad de la caña, la época del año y la acción de agentes externos [8, 9].

No obstante, hoy se conoce que esta gramínea puede formar oligosacáridos en sus jugos en concentraciones significativas. La caña luego del corte acentúa la velocidad de formación de estos azúcares de manera proporcional a su contenido inicial en sus

jugos. Los oligosacáridos afectan de forma significativa la eficiencia de la fábrica ya que disminuyen la velocidad de crecimiento del cristal de sacarosa y lo deforman, produciendo los conocidos cristales agujas. Como resultado los cristales pequeños y alargados escapan a través de las telas de las centrífugas aumentándose las purezas de las mieles finales.

La dependencia del nivel de oligosacáridos en los jugos de cañas frescas con las características de las variedades resultó evidente desde los primeros estudios sobre el efecto que tienen las impurezas en la eficiencia de la fabricación de azúcar, no obstante, la edad de la caña mostró ser un factor preponderante hallándose altas correlaciones entre este parámetro y el nivel de oligosacáridos en el jugo [10]. La época del año por otra parte ha mostrado ejercer un efecto notable sobre la acumulación de oligosacáridos en la caña, observándose un aumento creciente de los niveles de oligosacáridos en sus jugos al acercarse la primavera, alcanzándose un máximo en el momento de mayor crecimiento de la planta (época de lluvias). En este artículo se describen los resultados obtenidos al estudiar el comportamiento del contenido de los oligosacáridos en los jugos de cuatro variedades a lo largo de dos años.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para determinar el contenido de oligosacáridos en los jugos de caña se empleó una técnica desarrollada por los autores [1] que se basa en la separación cromatográfica de estos azúcares, usando una columna rellena con hidroxipatita.

Las variedades de caña se muestrearon en los campos ferralíticos rojos de las provincias de Mayabeque y Artemisa. Los jugos se extrajeron inmediatamente luego del corte, se desfibraron las cañas y se prensaron a 200 kg/cm² por minuto. El muestreo de la caña se realizó con las técnicas recomendadas por tener un valor importante a la hora de reportar información, al ser el material más difícil de muestrear en la industria, debido a las heterogeneidades de varias de las propiedades que por lo regular presenta la caña [12].

RESULTADOS Y DISCUSION

Se hace evidente en los resultados obtenidos, que la época del año juega un papel similar al factor asociado a la edad de la caña. En la época de lluvia, a los 12 meses de edad, las cañas como promedio pueden mostrar niveles de oligosacáridos [1] semejantes a los que pueden tener durante un mes de seca pero con 14-19 meses de edad.

Estos estudios realizados durante dos años usando jardines de variedades ubicados en una misma región del país, permitió en primera aproximación, abarcar todas las variables hasta ahora conocidas que pueden resultar determinantes en la formación de oligosacáridos en la caña [13].

Se pudo observar el nivel de concentración de los diferentes tipos de azúcares en los jugos de diversas variedades de caña durante el período de seca (zafra). Dentro de esta época del año con independencia de la variedad y de la edad de la caña aparecen en los jugos los dos azúcares que más influyen en el proceso de cristalización de la sacarosa, aunque los niveles de concentración de estos azúcares en los jugos de una variedad dada, como ya se ha reportado, dependen de la edad de la caña y de la acción de agentes externos [9].

Existen variedades, todas cultivadas en condiciones semejantes, que aún en abril poseen niveles bajos de xilosa y lactosacarosa, azúcares que están vinculados a la deformación del cristal de sacarosa y a la aparición de los cristales agujas [10], se ha observado no obstante, que en general se produce un aumento en el contenido de oligosacáridos en la caña a medida que se acerca la primavera, cualidad que las hacen atractivas desde el punto de vista industrial, al menos para la fabricación de azúcar en esa región en particular. Entre estas variedades de bajo contenido de las anteriores impurezas pueden seleccionarse las de mejores índices de rendimiento de sacarosa por ha o mejor aún de azúcar extraíble por ha como testigos en ensayos de las variedades en diferentes regiones o lugares.

Durante la época de lluvia o más humedad del año, cuando la caña está en pleno período de gran crecimiento, el cuadro es diferente. La composición de azúcares en los jugos de las diferentes variedades se modifica en general. El estudio de la composición de AIS en los jugos de las variedades estudiadas permitió observar que en algunas dejan de formarse la xilosa, la rafinosa y la lactosacarosa. Como factor común se observa la presencia de la 1-kestosa en los jugos de todas las variedades estudiadas. En este período la edad de la caña, aunque de nuevo resulta el factor más determinante sobre el nivel de AIS en los jugos ($r = 0,82$ para 16 variedades), no aparece como un factor determinante sobre la presencia o no de la xilosa y la lactosacarosa en los jugos de las variedades de cañas estudiadas.

Se observa una dependencia lineal entre la velocidad de degradación de la caña luego del corte [10] y la concentración inicial de oligosacáridos, en un estudio realizado a 92 variedades [8]. Algunas variedades presentan valores anormales de concentración de oligosacáridos iniciales sobre pasando valores de 3 % Bx. Las variedades pue-

den aumentar la concentración de oligosacaridos en sus jugos con el avance de su edad y se hacen más propensas a aumentar su velocidad de degradación luego del corte.

El parámetro TAO (Tendencia a Acumular Oligosacáridos) recientemente propuesto [8] refleja esta tendencia en la caña de azúcar con el avance de su edad, y es así un nuevo parámetro de calidad que puede utilizarse durante la selección de variedades que puedan ser molidas con más de 12 meses de edad.

Como se puede observar en las tablas 5, 6, 7 y 8 de las cuatros variedades estudiadas, el contenido de oligosacáridos en los jugos de las cañas aumenta notablemente con su edad, alcanzando valores entre un 3 y un 4 % Bx cuando alcanza valores alrededor de los 19 meses. No obstante se puede apreciar que existe igualmente una buena correlación entre el nivel de oligosacárido y los meses del año que se ven reflejados en las tablas 1, 2, 3 y 4 lo que puede explicarse debido al efecto combinado de la edad y la época del año sobre el contenido de oligosacáridos en las cañas. Es evidente que en la medida que se alcanzan los meses más húmedos o de más precipitaciones se incrementa el contenido de oligosacáridos en los jugos de las cuatros variedades estudiadas, esto aparece en las tablas 1, 2, 3 y 4, en las que se observa el comportamiento de los oligosacaridos en distintos meses del año. Las muestras se tomaron del semi-

Tabla 1. Los resultados de la composición de los oligosacáridos con la época del año en la variedad C 86-12

OLIGO % Bx *	Época del año
0,26	enero (1)
0,78	abril (4)
1,87	junio (6)
2,36	sept. (9)
2,62	oct. (10)
Y= 3, 57 X + 0,42; R=0,98; N= 5	

Tabla 2. Los resultados de la composición de los oligosacáridos con la época del año en la variedad C138-77

OLIGO % Bx *	Época del año
0,46	enero (1)
0,92	abril (4)
2,32	junio (6)
2,92	sept. (9)
3,24	oct. (10)
Y= 2,92 X + 0,24; R = 0,975; N = 5	

Tabla 3. Los resultados de la composición de los oligosacáridos con la época del año en la variedad C 323-68

OLIGO % Bx *	Época del año
0,55	enero (1)
0,82	abril (4)
2,17	junio (6)
2,91	sept. (9)
3,72	oct. (10)
Y= 3, 02 X + 0,219; R=0,9698; N= 5	

Tabla 4. Los resultados de la composición de los oligosacáridos con la época del año en la variedad C 128-83

OLIGO % Bx *	Época del año
0,32	enero (1)
1,32	abril (4)
2,23	junio (6)
2,86	sept. (9)
3,23	oct. (10)
Y= 3, 09 X + 0,15; R=0,993; N= 5	

* Se tomaron 5 muestras en cada mes, se reporta el promedio de concentración de los oligosacáridos presentes en la caña.

llero de la Etica (Mayabeque-Artemisa) y todas las variedades tienen doce meses.

Las tablas 5, 6, 7 y 8 reflejan cómo influye la formación de oligosacáridos en las mismas variedades pero desde el punto de vista de las edades de la caña. Este estudio fue realizado en un mismo mes (enero) y las muestras se tomaron del semillero de la Etica (Mayabeque-Artemisa).

En este trabajo se observan los valores del contenido de oligosacáridos en las cuatros variedades de caña estudiadas, se puede apreciar que en los meses más húmedos o de más precipitaciones las cañas poseen niveles mayores del contenido de oligosacáridos en sus jugos. Por otro lado resulta evidente que los mayores niveles de oligosacáridos en

Tabla 5. Cinética de formación del oligosacárido en la variedad C138-77 con distintas edades

OLIGO % Bx *	Edad (meses)
0,78	12
0,97	14
2,10	16
2,62	18
3,72	19
Y= 1, 98 X + 11,4; R=0,97	

Tabla 6. Cinética de formación del oligosacárido en la variedad C 86-12 con distintas edades

OLIGO % Bx *	Edad (meses)
0,48	12
0,67	14
1,10	16
1,82	18
2,02	19
Y= 4, 11 X + 10,79; R=0,98	

Tabla 7. Cinética de formación del oligosacárido en la variedad C 323-68 con distintas edades

OLIGO % Bx *	Edad (meses)
0,25	12
0,48	14
2,14	16
2,59	18
3,42	19
Y= 1, 8 X + 10,4; R=0,95	

Tabla 8. Cinética de formación del oligosacárido en la variedad C 128-83 con distintas edades

OLIGO % Bx *	Edad (meses)
0,36	12
0,60	14
2,52	16
2,98	18
3,62	19
Y= 1, 90 X + 11,96; R=0,97	

* Se tomaron 5 muestras en cada edad, se reporta el promedio de concentración de los oligosacáridos presente en la caña.

las variedades de caña estudiadas se observan a las edades mayores y en el periodo húmedo del año.

La variedad que contiene menor nivel de oligosacáridos es la C86-12 , la cual es además la

más difundida en Cuba y resulta ser el cultivo más estable y con alto rendimiento agrícola, eso permite que esta variedad pueda continuar cultivándose, ya que no es muy formadora de impurezas porque sus valores no llegan a perjudicar el proceso fabril, también hay que tener en cuenta que se obtienen buenos rendimientos agrícolas en cualquier tipo de suelos, que no es el caso de otras variedades como la C 323-68 que aunque es la segunda más extensa en el país, no se recomienda molerla con más de 14 meses de edad, por su alto grado de impureza. Además esta variedad alcanza altos rendimientos agrícolas solamente en suelos rojos, por lo que se puede recomendar que las otras tres variedades reportadas en este trabajo no se muelan con más de 14 meses.

CONCLUSIONES

De enero a abril (época de seca), al estudiar las variedades de caña con 12 meses de edad, se observó que los contenidos de oligosacáridos resultan de un valor adecuado para moler la caña ya que no se afecta en el proceso fabril.

Los valores más altos del contenido de oligosacáridos en estas cuatro variedades, con 12 meses de edad, se observan durante la época de lluvias (de mayo a octubre)

Estas variedades aunque se estudiaron en época de seca muestran un elevado contenido de oligosacáridos con el aumento de la edad.

Para hacer un estudio de la calidad de la caña es importante tener en cuenta la época en que se realiza y la edad de esta.

RECOMENDACIONES

Este estudio se ha realizado con cuatro variedades de caña, pero los resultados invitan a ampliarlo a otras variedades, para poder tener un mayor conocimiento de la formación de los oligosacáridos que afectan la eficiencia industrial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ravelo, S.; Ramos, E. L.(1995)"An analytical procedure for oligosaccharides in sugar cane products" XXII ISSCT Congress. Cartagena de Indias, Colombia.
2. Ramos, E. L.; Ravelo, S. Sugarcane oligosaccharides and their impact on sucrose quality and factory efficiency. (2009) Sugar Tech. (INDIA) 11, 2, 185-188.
3. Ramos, E.L; Ravelo, S.; Pino, S.; Gutiérrez, S. La composición de carbohidratos de los jugos de caña Memorias del Congreso Internacional sobre Azúcar y Derivados de la Caña (Diversificación 2004), Trabajo por Comisiones, Industria Azucarera. -096.

4. Ramos, E.L.; Ravelo, S.; Gutiérrez, S. La Calidad del Azúcar Crudo y los Azúcares que Impurifican la Sacarosa en los Jugos de Caña Cuba Azúcar (2003) XXXII, 2, 39-41.
5. Ramos, E.L.; Ravelo, S.; Gutiérrez, S. IFOPOLS, un producto formulado para elevar y proteger la calidad de la caña. Memorias del Congreso Internacional sobre Azúcar y Derivados de la Caña (Diversificación 2004) Trabajo por Comisiones, Productos para la Agricultura, 097.
6. Ramos, E.L.; Ravelo, S.; Pino, S. La auto-degradación de la caña de azúcar un factor a considerar en la selección de variedades. Parte 1 49 Congreso de la ATAC, Cd, AGRICULTURA, (2006).
7. Ramos, E.L.; Ravelo, S.; Pino, S. La auto-degradación de la caña de azúcar un factor a considerar en la selección de variedades. Parte 3. Revista ATAC, (2007) 68, 2.
8. Ramos, E.L.; Ravelo, S.; González, F. Sugarcane Changes After Cutting (2010) Sugar Tech. (INDIA)
9. Vaccari, R.; Mantovani, G.; Sgualdino, G.; Tamburini, E.; Aquilano, D. (1999). Fructo-oligosaccharides and sucrose crystal growth morphology. I. Experimental growth habit. Zuckerindustrie, 124: 34-39.
10. Solomon, S. (2000) Post-harvest cane deterioration and its milling consequences. Sugar Tech 2: 1-18
11. Hormaza, J.; López M.; Line, A.; Ramos, E.L. (1983). Non-sugar and their influence upon the sucrose crystal habit. Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol. 20: 1178-1191.
12. Sanfiel Pérez H. F.; Rodríguez, J. (2006) Método de muestreo para la industria azucarera.
13. Morel Du Boil, P.G., (1995) Cane deterioration-oligosaccharide formation and some processing implication. Proc. S. Afr. Sugar Cane Technol, 69: 146-154.

EDITORIAL ICIDCA le ofrece

- *Venta de más de 30 títulos sobre industria azucarera y sus derivados*
- *Venta y suscripción de la revista Icidca sobre los derivados de la caña de azúcar*



- *Servicios de edición*

Para más información:
ICIDCA

Vía Blanca 804 y Carretera Central,
S.M.P. La Habana, Cuba

E. mail: revista@icidca.edu.cu

Teléfonos: 698-3000

698-3008 ext. 210 o 211

Sisalco: nueva solución para la contabilidad alcoholera en destilerías cubanas

Arnaldo Díaz-Molina, Mauricio Ribas-García

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)
Vía Blanca 804 y Carretera Central. San Miguel del Padrón. La Habana, Cuba
arnaldo.diaz@icidca.azcuba.cu

RESUMEN

Sisalco es una plataforma informática orientada al control de la producción de alcohol en destilerías cubanas. Surge debido a la necesidad de estandarizar la gestión de los procesos de fermentación, destilación y almacenamiento de las producciones en estas destilerías. Es el resultado de un trabajo de investigación orientado al desarrollo de herramientas de software que garanticen una contabilidad alcoholera eficiente y confiable; y facilitar el análisis estadístico de todas las destilerías del país por parte de los directivos autorizados. Automatiza todos los cálculos publicados en el Manual de la contabilidad alcoholera en Cuba y facilita la realización de los partes de producción diarios, así como el estudio de los parámetros relacionados con la producción de alcohol y otras producciones derivadas. Permite controlar elementos como el tiempo perdido, calidad de materias primas y producciones, consumo de insumos, ventas, transferencias, cumplimiento de planes de producción, alcohol almacenado en tanques de control y almacén. Es capaz de controlar la producción mediante varios esquemas de almacenamiento y en las unidades de medida que requiera cada destilería. Con esta plataforma de software, Cuba dispone de una herramienta actualizada que homogeniza la contabilidad alcoholera a nivel nacional, lo que representa un aporte importante a la economía cubana.

PALABRAS CLAVE: destilería, fermentación, destilación, contabilidad alcoholera, producción de alcohol.

ABSTRACT

Sisalco is a computer platform for controlling the alcohol production in Cuban distilleries. It is created due to the necessity of the standardization of fermentation, distillation, and product storage processes. It is the result of an investigation project oriented to the development of software tools for guaranteeing an efficient and reliable alcohol accounting; and to facilitate the statistical analysis of all Cuban distilleries by the authorized directives. It automatizes all the calculus published at the Cuban Alcohol Accounting Manual and facilitates the realization of the daily production reports. It facilitates the study of the alcohol production parameters, as well as other by-products. It allows controlling elements like the wasted time, raw-materials and productions quality, raw-materials consumption, sells, transferences, production plans, stored alcohol in control and storage tanks. It is capable of controlling the production through several storage schemas using the measuring unit that each distillery requires. With this software platform, Cuba has an updated tool that standardizes the alcohol accounting at national level, representing an important contribution to Cuban economy.

KEYWORDS: distillery, fermentation, distillation, alcohol accounting, alcohol production.

INTRODUCCIÓN

El alcohol etanol, conocido también como alcohol etílico, es el principal tipo de alcohol encontrado en las bebidas alcohólicas y es producido por la fermentación de azúcares utilizando levaduras. El etanol fue el primer derivado obtenido industrialmente a partir de un subproducto de la agroindustria cañera: las mieles de caña o melazas. Su tecnología de producción es bien conocida, y casi todos los países cultivadores de caña lo producen en mayor o menor escala [1, 2].

La producción de alcohol se ha convertido en uno de los principales rubros económicos para varios países. Entre los principales productores, de acuerdo con la publicación "El sector brasileño del azúcar y el alcohol: evolución, cadena productiva e innovaciones" [3], Brasil era ya el mayor exportador (64.8 % de la exportación total) en el año 2006 y está produciendo cada vez más alcohol en calidad de combustible. Otros países como Cuba centran mayores esfuerzos en la utilización del alcohol para la industria farmacéutica y alimentaria.

El empleo del alcohol para estas actividades impone normas de calidad muy rigurosas, por lo que el control de la calidad de los insumos y los alcoholes finales toma especial relevancia. Para obtener alcoholes competitivos en el mercado mundial hay que tener un control exigente sobre los parámetros de producción, que incluye principalmente a los procesos de fermentación, destilación y almacenamiento de las producciones. Al control de todos los parámetros de producción y otros elementos vinculados directa o indirectamente con la fabricación de alcohol se le denomina contabilidad alcohólica.

La influencia de la informática para el análisis y la optimización de procesos en la industria azucarera, dentro de la cual se encuentra la producción de alcohol, se ha evidenciado desde hace muchos años. Así, podemos encontrar aplicaciones básicas para la gestión de información y aplicaciones avanzadas que pueden simular el comportamiento de todo un ingenio azucarero y proponer optimizaciones para aumentar producciones, minimizar costos o proponer programaciones eficientes en el corte de caña. Relacionados con la producción de alcohol podemos encontrar ejemplos como el software Destila, que permite la simulación de esquemas de producción para la obtención de alcohol hidratado usando un modelo matemático de naturaleza no lineal basado en los balances totales, alcohólicos, de energía y en otros condicionantes tecnológicos [4]. Otro ejemplo lo constituye el software Fermenta, el que incorpora algoritmos de cálculo que resuelven modelos matemáticos para la simulación de fermentaciones a partir de dife-

rentes sustratos azucarados, que pueden ser obtenidos del proceso de producción azucarera, incorporando los modos de operación de fermentación continua, discontinua, discontinua con alimentación y continua con tanques conectados en serie con o sin recirculación de levadura [5].

Las experiencias acumuladas en la fabricación de alcohol en Cuba son excelentes. Sin embargo, problemas relacionados principalmente a limitaciones tecnológicas han dificultado realizar una contabilidad alcohólica confiable. Entre los principales factores de este problema se encuentra la no disposición de una herramienta informática que estandarice la forma en que se contabilizan y calculan los parámetros de producción.

En Cuba, cada destilería emite un parte de producción diario que se envía a los directivos del Grupo empresarial Azcuba. Este parte es analizado para identificar posibles violaciones que se puedan cometer a corto plazo y tomar decisiones oportunas. Sin embargo, como consecuencia de la no estandarización en la confección de dicho reporte, la situación real es que cada destilería realiza la contabilidad alcohólica con métodos propios, escasamente validados, que no ofrecen la seguridad que una actividad de este tipo merece.

Las variantes más utilizadas han sido hojas de cálculo o sistemas informáticos hechos específicamente para la destilería en cuestión. Las fuentes de dichas soluciones son diferentes y no son compatibles. Otro de los problemas identificados es el mantenimiento de estas soluciones, pues algunos de los desarrolladores no han garantizado este elemento. Otras destilerías realizan los cálculos de forma manual.

Es importante señalar que los cálculos de la contabilidad alcohólica no tienen una complejidad muy alta, pero son muchos y dependientes unos de otros. Como parte del proceso, si se comete un error en el cálculo de algún parámetro o dicho cálculo no fue programado y validado correctamente, los resultados serán erróneos y por lo tanto, no existirá una base sólida para evaluar la calidad de los productos. Otro elemento muy importante que ha afectado a la economía cubana es la pérdida de materias primas o alcoholes finales. Con las soluciones independientes de cada destilería, puede existir descontrol y cualquier negligencia cometida no puede ser identificada sino después de mucho tiempo.

En Azcuba se ha implementado un sistema automatizado (Iplus Derivados) encargado de consolidar los indicadores principales de todos los derivados producidos en el país, incluido el alcohol. Sin embargo, el sistema no calcula estos indicadores, sino que son introducidos manualmente por el técnico del laboratorio, luego de ser calculados por la variante particular de la destilería. Por lo tanto,

este sistema no soluciona el problema, pues su objetivo no es realizar la contabilidad alcohólica.

Debido a la necesidad nacional de resolver los problemas planteados, surge esta investigación cuyos objetivos principales son compilar todos los cálculos matemáticos y metodologías necesarios para la contabilidad alcohólica cubana y ofrecer una herramienta informática que estandarice el control de la producción de alcohol y garantice su confiabilidad. De esta forma, los principales aportes esperados son la calidad de los partes de producción diarios y la posibilidad de almacenar registros históricos a nivel nacional que permitan desarrollar en un futuro sistemas capaces de alertar sobre violaciones cometidas y apoyar la toma de decisiones basada en reglas obtenidas mediante la experiencia acumulada.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la automatización de los cálculos se tomó como bibliografía principal el Manual de cálculo para el control de la producción de alcohol, publicado por especialistas del Icidca. Este manual constituye la referencia básica para la ejecución de los cálculos relacionados con toda la contabilidad alcohólica y es una herramienta auxiliar para evaluar el comportamiento del trabajo de la destilería [6]. Los elementos automatizados se pueden agrupar en tanques de depósito de miel y alcohol, tanques de control de alcohol, fermentadores, control del volumen de jugos, control de producciones adicionales como la crema levadura, materias primas, salas de fermentación y destilación, cortes de producción, movimientos de mieles físicas y de jugos, balances generales de mieles físicas, datos de operación, consumos, eficiencias en fermentación y destilación, balance de azúcares fermentables, entre otros elementos publicados en dicho manual.

Se aprovecharon también otras soluciones existentes en las destilerías “Heriberto Duquesne” (Villa Clara) y “Melanio Hernández” (Sancti Spiritus), que enriquecieron los requisitos funcionales de la plataforma.

Considerando las características tecnológicas de las destilerías, el sistema ha sido diseñado para trabajar de forma distribuida en red, de forma tal que varias personas puedan ocupar diferentes roles en la administración de la información. Se planificaron varias etapas de desarrollo acorde a los objetivos planteados. En una primera etapa, se ha obtenido la herramienta de cálculo y generación de los partes de producción, que constituye el objetivo principal de la investigación y es explicada en el acápite de resultados. En otras dos etapas de desarrollo futuro se obtendrán aplicaciones

web que permitan consolidar la información generada a nivel de destilería y a nivel nacional; y se incorporarán subsistemas para analizar estadísticamente el historial de trabajo de la destilería.

Por la importancia de la información que se desea controlar, se estudiaron mecanismos de seguridad que garantizan que solo el personal autorizado tenga acceso a manipular el sistema y registrar cada operación realizada, por lo que se ha diseñado un sistema auditable, lo cual constituye uno de los requisitos fundamentales en este tipo de sistemas.

RESULTADOS

El sistema de cálculo y generación de los partes de producción diarios es el principal resultado obtenido. Ha sido programado en el lenguaje de programación C++ por su capacidad para ejecutar cálculos matemáticos en poco tiempo. Es una aplicación de escritorio, lo que significa que debe ser instalada en cada computadora en que vaya a utilizarse, aunque distintas instalaciones pueden trabajar conjuntamente en red con una base de datos centralizada. Se consideró que una aplicación de escritorio es la solución óptima porque el cálculo y generación de los partes productivos requieren la introducción de un gran número de parámetros diarios, además de que solo una o dos personas se encargan de esta tarea en la destilería. La base de datos ha sido diseñada e implementada en el gestor de bases de datos PostgreSQL 9.0, el cual es reconocido a nivel mundial por su potencia y su distribución es gratuita. El programa ofrece los siguientes grupos de herramientas:

1. Administración, donde se configura el sistema para que se ajuste a las características tecnológicas de la destilería. Se pueden configurar los insumos, proveedores de miel, indicadores de energía, ensayos de miel, ensayos de jugo, ensayos de alcoholes, producciones, destinos de ventas y transferencias, tanques de control de miel, fermentadores, tanques de alcohol, índices de eficiencia, causas de tiempo perdido, áreas de producción derivadas del proceso principal de producción de alcohol, unidades de medida para controlar la miel de entrada, el jugo de entrada, las producciones, control de los planes de producción diario y mensual, y datos generales para identificar a la destilería en los partes emitidos a Azcuba. Se puede incluso especificar la forma de medición de cada tanque y fermentador. En este sentido se encuentran programados los distintos métodos de medición utilizados como los PNeumakator ingleses y americanos, medidores de presión,



The screenshot shows the Windows XP 'Gestion des périphériques' (Device Manager) window. The 'Dispositifs de stockage' (Storage devices) tab is selected. The list of devices includes:

Dispositif	Capacité	Formatage	État	Modèle	Modèle
(D:)	2000 Mo	NTFS	OK	ATA-100	ATA-100
(E:)	2000 Mo	NTFS	OK	ATA-100	ATA-100
(F:)	2000 Mo	NTFS	OK	ATA-100	ATA-100
(G:)	2000 Mo	NTFS	OK	ATA-100	ATA-100
(H:)	2000 Mo	NTFS	OK	ATA-100	ATA-100
(I:)	2000 Mo	NTFS	OK	ATA-100	ATA-100
(J:)	2000 Mo	NTFS	OK	ATA-100	ATA-100
(K:)	2000 Mo	NTFS	OK	ATA-100	ATA-100
(L:)	2000 Mo	NTFS	OK	ATA-100	ATA-100

The 'Contrôleur de disque IDE' is highlighted in the list. The 'Dispositifs de stockage' tab shows a list of storage devices, including the 'Contrôleur de disque IDE' and the 'Dispositif de stockage'.

Ventas

Se ingresaron 1 de 1 línea(s) de venta

Ventas de atención al cliente **Producciones activadas**

Producto	Lote	Cantidad
Alcohol Etilico Puro	AL	200 0000
Alcohol Etilico Puro	AL	5 0000
Alcohol Etilico Puro	AL	800 0000
Alcohol Etilico Puro	AL	110 0000
Alcohol Etilico Puro "A"	AL	10 0000
Alcohol Etilico Puro "A"	AL	5 0000
Aguardiente	AL	5 0000
Pud Etilico Rectificado	AL	5 0000
Desnaturalizado "P-10"	AL	100 0000

Total por producto

Producto	Total (Px)
Alcohol Etilico Puro	4000 0000
Alcohol Etilico Puro "A"	10 0000
Aguardiente	5 0000
Pud Etilico Rectificado	5 0000
Desnaturalizado "P-10"	100 0000

OK Cancel

2. Existencias iniciales, donde se registran las existencias de miel, alcohol y otras producciones antes de comenzar la campaña. Cuando se inicia una nueva campaña de producción, el sistema actualiza automáticamente esta información, por lo que solo será necesario registrar esta información en el momento en que se instala el programa (figura 2).

iniciarse un nuevo día, el sistema ajusta automáticamente todos los registros del nuevo día, por lo que el usuario solo tendrá que modificar lo que ha cambiado con respecto al día anterior sin preocuparse del resto del proceso. En cada día de producción se considerarán 24 horas de operación porque se trata de un proceso continuo, pero cuando es el primer día de la campaña o el primer día luego de una etapa de descanso, se puede establecer la cantidad de horas que se va a trabajar. La existencia de los turnos de trabajo no influye en el resultado final del parte, por lo que no se controla (figura 3).

das restricciones para garantizar que los números calculados sean consistentes. Por ejemplo, no se puede registrar batición de entrada a la sala de fermentación si no hay suficiente miel disponible en los tanques de control. De igual modo, no puede haber destilación si la batición consumida en la sala de fermentación es igual a cero. Son solo dos ejemplos para ilustrar la exigencia de



Figura 3. Creación de un nuevo día de producción.



Figura 4. Módulo de insumos, producciones y salidas.

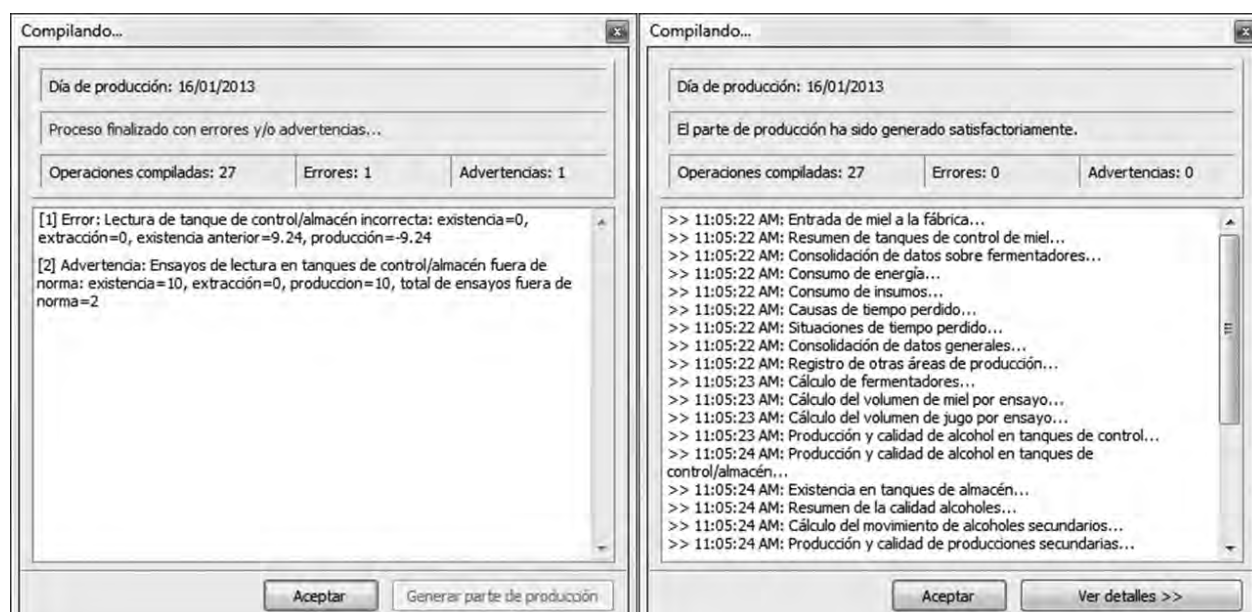


Figura 5. Herramienta para compilar y generar el parte de producción diario.

trabajo que impone el sistema, lo cual favorece al especialista pues no tendrá que preocuparse por errores inherentes difíciles de identificar manualmente (figura 4).

5. Cálculos, donde se compila toda la información del día en curso y se calculan todos los parámetros del proceso de producción. Además del cálculo automático, la compilación juega un papel aún más importante, pues constituye una segunda etapa para identificar errores. Al existir errores que no son fácilmente identificables en el momento de registrar los datos o su validación inmediata constituye un aspecto ineficiente, este paquete es capaz de identificar estos errores y mostrar al usuario mensajes claros e impedir que se genere el parte de producción hasta que dichos errores sean arreglados. Un ejemplo de este tipo de fallo lo constituyen el prorrateo de miel de entrada entre los fermentadores y el cálculo de las producciones. Además se ofrece la utilidad de un sistema de advertencias, que agrupa aquellos datos que no tienen por qué ser errores, pero que parecen susceptibles de estar mal registrados. Un ejemplo

de ello lo constituyen los ensayos de calidad que no cumplen con los rangos normados. En este caso, el sistema muestra un mensaje de alerta, pero permite que se genere el parte de producción y la responsabilidad es totalmente del especialista a cargo. Si no hay errores, ejecutar todo el procesamiento de cálculos demora segundos, y el usuario puede garantizar que todos sus resultados son correctos, en concordancia con los parámetros de entrada.(figura 5).

6. Parte de producción, donde se genera el reporte productivo diario que se le envía a los directivos. El sistema permite imprimir este repor-

te para facilitar el análisis de los tecnólogos, pero el flujo de transmisión de este reporte se ejecuta digitalmente utilizando ficheros cuidadosamente encriptados y que solo son interpretables utilizando una herramienta especial, con acceso restringido, en el nodo central. En Cuba, los partes de producción se emiten diariamente y decenalmente, aunque el sistema no restringe solo estos rangos de fecha, sino que permite al usuario seleccionar cualquier intervalo de fechas y muestra la información consolidada en relación a la selección (figura 6).



Figura 6. Parte de producción diario.

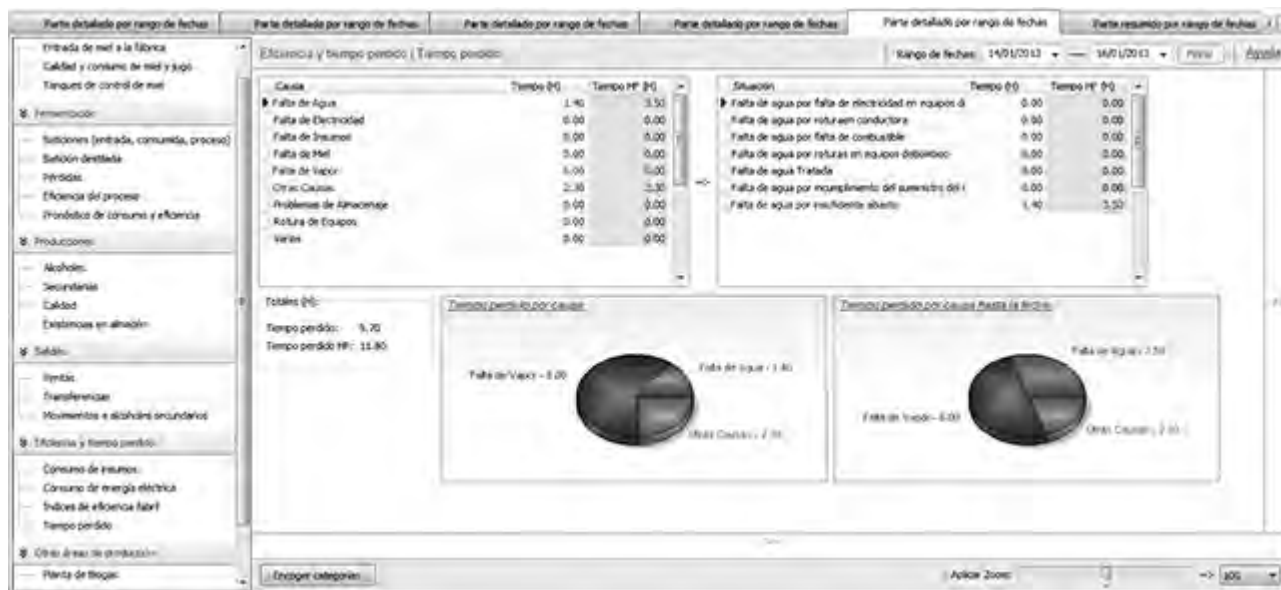


Figura 7. Reporte de tiempo perdido.

7. Reportes, donde se pueden obtener todos los indicadores de consumo, producción y calidad acumulados en toda la campaña en curso. También permiten obtener registros de campañas anteriores y mostrar toda la información en paralelo para poder establecer comparaciones. El sistema ofrece dos grupos de reportes principales: los acumulativos, orientados a consolidar datos históricos; y los estadísticos, capaces de realizar procesamiento utilizando estadísticas discretas y mostrar los resultados de los estadígrafos necesarios para analizar el estado de cada elemento de la destilería. Gracias a estos reportes, el usuario puede buscar rápidamente información de toda la destilería o de algún elemento en específico; por ejemplo, puede analizar cómo se ha comportado la sala de fermentación en cualquier período de fechas, pero puede llegar al detalle de cada fermentador en particular (figura 7).
8. Seguridad, donde se agrupan las herramientas encargadas de la seguridad e integridad de los datos almacenados. La entrada al sistema requiere de autenticación de usuario. Se han encriptado cuidadosamente todos los datos de las cuentas de usuario. Los datos de producción de las destilerías no pueden ser públicos, por lo que los registros que se envían al nodo central son encriptados y compactados antes de enviarse, de forma tal que si se interceptara esta información el intruso no podría interpretar lo que se está enviando. Cada acción realizada en el sistema es registrada de forma automática sin que el usuario interceda en ello. De esta forma, si alguien comete alguna violación en el registro, será fácilmente identificable en las auditorías (figura 8).



Figura 8. Autenticación de usuario y herramienta para obtener identificación del hardware donde está instalado el sistema.

9. Ayuda y soporte técnico, donde el usuario encuentra información para aprender a utilizar el sistema y para contactar a sus desarrolladores. El

mantenimiento de la plataforma está garantizado por parte de los especialistas del Icidca, lo cual resuelve uno de los principales problemas identificados con las soluciones no documentadas ni validadas existentes anteriormente.

DISCUSIÓN

Se planificaron etapas de instalación y validación de la plataforma. En una primera etapa se instaló en la destilería “Melanio Hernández”. Se introdujeron los datos de varios días de producción, lo que permitió validar y perfeccionar las herramientas del sistema, así como identificar otros requisitos funcionales como por ejemplo, la necesidad de incluir el proceso de rectificación de alcohol y algún mecanismo para realizar ajustes contables y rectificar errores cometidos en la introducción de los datos. La generalización hacia las restantes destilerías se realizará gradualmente, teniéndose planificado comenzar por “Heriberto Duquesne”.

No obstante, se tuvieron que enfrentar problemas debido a diferencias en los cálculos del parte de producción. Por solo citar un ejemplo, se encontró que para calcular la eficiencia en destilación en “Heriberto Duquesne” se utilizaba la siguiente ecuación:

$$\text{Eficiencia Destilación} = \frac{\text{alcohol producido } 100 \% \text{ v/v}}{\text{alcohol en batición consumida}} * 100$$

Mientras que en “Melanio Hernández” se utilizaba esta otra (variante implementada en el Sisalco):

$$\text{Eficiencia Destilación} = \frac{\text{alcohol producido } 100 \% \text{ v/v}}{\text{alcohol en batición a destilación}} * 100$$

La ecuación número uno utiliza la batición consumida completa, incluyendo la batición perdida debido a roturas en los fermentadores o a los residuos que quedan en el fondo al finalizar la fermentación, cuando en realidad debe utilizarse el vino real que pasó a la destilación, porque es lo que puede destilarse, tal y como lo hace la ecuación número 2. Este detalle, aparentemente sin importancia, ofrece resultados completamente distintos y constituye uno de los problemas indetectables analizando el parte de producción.

CONCLUSIONES

La coexistencia de soluciones independientes e incompatibles es a corto plazo un problema a los efectos de controlar cualquier producción en donde

se involucren varias entidades productivas. En el caso específico de la producción de alcohol en Cuba, es una necesidad imperante la instalación de un sistema como el Sisalco. La culminación de esta primera etapa de desarrollo es un paso de avance importante, pues se dispone de una aplicación actualizada que homogeniza la contabilidad alcoholera en todas las destilerías del país. La automatización de todos los cálculos necesarios para generar el parte de producción diario evita que se cometan errores y complementa el trabajo realizado por los autores del Manual de cálculo para el control de la producción de alcohol. El estudio de este manual y el empleo de esta plataforma, garantizan que la información generada en los procesos de producción de alcohol sea segura y consistente, lo que posibilitará realizar estudios en un futuro cercano utilizando herramientas estadísticas con capacidad de aprendizaje para apoyar la toma de decisiones oportunas en los niveles superiores del grupo azucarero Azcuba.

La experiencia ha demostrado que no alcanza con la información brindada por el software Iplus-Derivados a los efectos de un análisis estadístico profundo. Se queda mucha información valiosa en las destilerías que permitiría a los analistas autorizados estudiar con mayor profundidad el comportamiento de la producción de alcohol a nivel nacional, así como identificar y asesorar técnicamente a las destilerías que presentan problemas.

Precisamente por lo anterior, no se puede decir aún que todo el trabajo está concluido. Para que una plataforma de control productivo esté completa, requiere de herramientas complementarias que funcionen en diversos puntos estratégicos y se complementen en algún punto de consolidación y análisis de datos. En el caso del Sisalco es necesario crear otras aplicaciones distribuidas que permitan observar información consolidada a los res-

ponsables de calidad y directivos en aras de identificar rápidamente posibles violaciones. Es importante diseñar un nivel de acceso escalonado, de forma tal que cada personal autorizado pueda acceder solo a la información que le corresponde. Esta conclusión final, representa el punto de inicio para las próximas etapas de desarrollo y de publicación de resultados.

RECOMENDACIONES

- Continuar la generalización de la plataforma Sisalco en todas las destilerías cubanas.
- Incluir el control de las vinazas producidas, ya que este es uno de los residuos más contaminantes de las destilerías, y que utilizándose adecuadamente puede aprovecharse como fertilizante agrícola de alta eficiencia.
- Desarrollar módulos que puedan ejecutarse en plataformas móviles tales como teléfonos celulares inteligentes o tabletas. Este tipo de plataforma es una de las más utilizadas a nivel mundial por su facilidad de uso y el ahorro económico que representan.
- Considerando que las variables involucradas en los procesos de fermentación y destilación alcohólica son similares en cualquier destilería, se recomienda promover la utilización de esta plataforma a destilerías extranjeras, lo cual representaría un aporte económico interesante para el país. En este sentido, habría que realizar cambios en la forma en que se introducen los datos, pues en Cuba se introducen manualmente pero en el extranjero las destilerías cuentan con un alto nivel de automatización. No obstante, la contabilidad sobre los parámetros de producción es muy similar, por lo que es posible ajustar Sisalco a este tipo de destilerías.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Jacques, K. A., Lyons, T. P., y Kelsall, D.R. The Alcohol Textbook 4th Edition. A reference for the beverage, fuel and industrial alcohol industries, Editorial Nottingham University Press, United Kingdom, 2003.
2. Cordovés, M. Estudio sobre el Estado Actual y Perspectivo de la Producción y Usos del Alcohol Etílico o Etanol: p. 3, 2008. (Informe de investigación publicado en la intranet del ICIDCA). <http://server-nave/BVirtual/ColeccionDigital/Informes/II-4694.pdf>
3. Strachman, E.; Milan, G. El sector brasileño del azúcar y el alcohol: evolución, cadena productiva e innovaciones. Revista CEPAL: p. 183, Abril 2011.
4. Hurtado, R.; Ribas, M.; Sabadí, R. Análisis del proceso de destilación alcohólica utilizando la herramienta de software Destila 5.0. Revista Ingeniería Química: p. 83, Julio/Agosto 2009.
5. Ribas, M; Hurtado, R; Garrido, N; Díaz de los Ríos, M; Doménech, F; Sabadi, R; *et al.* Modelación matemática y simulación de procesos fermentativos. Presentación de una nueva herramienta de software. Revista Ingeniería Química: p. 118, Julio/Agosto 2006.
6. Cuellar, H; Rodríguez, J; Estévez, R; Saura, G; Carit, C; de la Guardia, M. Manual de Cálculos para el Control de la Producción de Alcohol. 1a ed. ICIDCA: Octubre 2012, p. 7.

Fermentación en estado sólido de *Trichoderma harzianum* bajo campos magnéticos

Siannah M. Mas-Diego¹, Iván L. Rodríguez-Rico², Clara Martínez-Manrique¹, Georgina Michelena-Álvarez³, Agenor-Furigo Jr.⁴

1. Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA), Santiago de Cuba, Cuba.
siannah@cnea.uo.edu.cu
2. Universidad Central de Las Villas (UCLV), Cuba.
3. Instituto Cubano de Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), Cuba.
4. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Brasil.

RESUMEN

Se comparan los resultados del crecimiento, obtenidos a partir del cultivo sobre soporte sólido del agente de control biológico *Trichoderma harzianum* (IMI 314381) bajo campos magnéticos a diferentes escalas. Se realizó la fermentación en estado sólido (FES) de *Trichoderma harzianum* (IMI 314381) bajo campos magnéticos estáticos de 60 y 80 mT durante 15 minutos para producciones de 100 g, 200 g y 2 kg, empleando como sustrato bagazo de caña (80 % w/w) enriquecido con cabecilla de arroz (20 % w/w). Se obtuvo una estimulación del crecimiento para los experimentos tratados con campo magnético. Los mejores resultados se obtuvieron para el campo magnético de 80 mT. La aplicación del campo magnético a la FES puede aumentar la producción de esporas alrededor de un 50 % con respecto al sistema que no recibe tratamiento magnético. Los mejores resultados se obtuvieron en las columnas de vidrio cargadas con 100 g de bagazo de caña (80 % w/w) enriquecido con cabecilla de arroz (20 % w/w). Cuando se aumenta la carga de las columnas desde 100 g hasta 2 kg de sustrato se observa una disminución de la producción de esporas en 51,26 %. Se concluye que en el sistema en columnas el aumento de la carga disminuye el rendimiento, por lo que se sugiere buscar otras soluciones tecnológicas para el escalado.

PALABRAS CLAVE: *Trichoderma harzianum* (IMI 314381), campo magnético, fermentación en estado sólido.

ABSTRACT

Solid support fermentation of the biological control agent *Trichoderma harzianum* (IMI 314381) cultured under magnetic fields at different scales is compared. Solid state fermentation (SSF) of *Trichoderma harzianum* (IMI 314381), under static magnetic fields of 60 and 80 mT for 15 minutes was performed at reactors of 100 g, 200 g and 2 kg capacity, using sugar-cane bagasse (80 % w/w) enriched with rice (20 % w/w) as substrate. Growth stimulation for experiments treated with magnetic field was obtained. The best results were obtained for the magnetic field of 80 mT. The application of a magnetic field to SSF can increase spore production by about 50 % compared to the system that did not receive magnetic treatment. When the charge of the columns increases from 100 g to 2 kg the spores production diminish on a 51.26 %. It is concluded that when the size of the columns increased the yield decreased, so that other technological proposal than columns must be considered for the scale-up.

KEYWORDS: *Trichoderma harzianum*, magnetic field, solid state fermentation.

INTRODUCCIÓN

El uso intensivo de agroquímicos ha causado un impacto negativo en los ecosistemas, contaminando el agua, afectando a los microorganismos y la salud humana. Una alternativa para su sustitución es el uso de agentes biológicos, que además, permiten asegurar la sostenibilidad agrícola. El hongo filamentoso *Trichoderma harzianum* (IMI 314381), es uno de los agentes biológicos comúnmente empleados para el control de otros hongos que atacan el sistema radicular de las plantas [1].

El campo electromagnético constituye una alternativa viable para elevar la eficiencia de los procesos biotecnológicos. Se han reportado efectos beneficiosos de la aplicación del campo electromagnético al crecimiento de levaduras y hongos [2-4]. El incremento de la velocidad de reproducción de microorganismos bajo los efectos de un campo magnético representa una posibilidad de disminuir los tiempos de fermentación y los costos productivos [5, 6].

Los sistemas de fermentación en estado sólido (FES) tienen varias ventajas cuando se trata de propagar hongos filamentosos. Dado que los hongos encuentran condiciones similares a sus hábitats naturales, alcanzan concentraciones superiores de esporas, lo que constituye un aspecto relevante en el trabajo con controladores biológicos. A pesar de las ventajas reconocidas, los sistemas sobre soporte sólido no han sido tan bien desarrollados como los sistemas de fermentación sumergida y esto se debe, en gran medida, a las dificultades que representa el escalado de estos procesos [7]. El escalado de un proceso de fermentación en estado sólido constituye una tarea personalizada que depende en gran medida del tipo de reactor empleado [8-11].

El objetivo de este trabajo es comparar los resultados obtenidos a partir del cultivo sobre soporte sólido de *Trichoderma harzianum* (IMI 314381) bajo campos magnéticos a diferentes escalas de producción para establecer las bases del escalado de este proceso.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo experimental se desarrolló en la sala de fermentaciones especiales del Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA), en la Universidad de Oriente, Santiago de Cuba.

Microorganismo: *Trichoderma harzianum* (IMI 314381), procedente del banco de cepas de la Fundación "André Tosello", Sao Paulo, Brasil. Se

conservó en el laboratorio Engebio, Universidad Federal de Santa Catarina (UFSC), Brasil.

Medio de conservación: Agar-Czapeck. A este medio se le ajustó el pH a 5,4 y se esterilizó durante 15 minutos en una autoclave a 1 atm y 121 °C. Se incubaron las cepas a una temperatura entre 28 y 30 °C.

Tratamiento magnético: Se realizó mediante un dispositivo confeccionado con imanes permanentes de ferrita y diseñado por el Departamento de Ingeniería Mecánica de la UFSC. El equipo magnetizador fue calibrado con un magnetómetro y un sensor de Hall. Se colocaron las cepas en un campo estático no homogéneo (5,6 % en un diámetro de 10 cm en la región de trabajo).

Se determinó el crecimiento radial de cepas sembradas en agar, expuestas al campo de 60 y 80 mT durante 15 minutos de exposición, comparando con el tratamiento control (sin aplicación de campo). El crecimiento radial fue medido dos veces al día (cada 12 horas) con un pie de rey (Starfer, China), desde el centro de la placa hasta la periferia de la colonia. Se realizaron tres mediciones por placa, concernientes a cada uno de tres diámetros previamente trazados sobre la misma. Se tomaron tres réplicas por cada experimento.

Se determinó la velocidad de crecimiento radial (K_r) como la pendiente de la ecuación lineal obtenida de la relación entre el diámetro de la colonia y el tiempo. Si se considera la zona de crecimiento radial del hongo constante, debido a que no hay limitación de nutrientes ni presencia de inhibidores, la velocidad de crecimiento radial de la colonia es un adecuado criterio de comparación entre los experimentos.

Fermentación en estado sólido: Se comparó el crecimiento del cultivo sin tratamiento magnético y el que recibió la influencia de campos magnéticos de 80 mT durante 15 minutos. Los experimentos fueron llevados a cabo a diferentes escalas.

- 1) Columnas de vidrio (dimensiones aproximadas de 5 cm de diámetro, 30 cm de altura) cargadas con 100 g de sustrato.
- 2) Frascos biotecnológicos (15 cm de diámetro, 30 cm de altura), cargados con 200 g de sustrato.
- 3) Columnas de cama empacada (20 cm de diámetro, 60 cm de altura) cargadas con 2 kg.

En todos los experimentos se empleó como inóculo una solución de $3,40 \times 10^8 \pm 7,36 \times 10^6$ esporas/mL y en base a 1:10 v/w. Se realizaron tres réplicas de cada experimento. El flujo de aire fue de 2 vkgm (litros de aire por kilogramos de medio por minuto) para las columnas de 100 g y de 200 kg. Los frascos no recibieron aireación. El tiempo de cultivo del hongo fue de 14 días.

El sustrato sólido, formado por bagazo de caña (80 % w/w) proveniente del central "Paquito Rosales" en Santiago de Cuba, fue tamizado previamente con un tamaño de partícula de + 3,00 -1,00 mm y enriquecido con cabecilla de arroz (20 % w/w). Se inició la fermentación con una humedad de $60,74 \pm 0,88$ %, determinada por gravimetría [12]. La humedad final se determinó con el peso final del sustrato, por el método gravimétrico citado.

Procesamiento estadístico: Se utilizó el programa Statistica v. 7.0, StatSoft, Tulsa, USA. (2007). En todos los casos el método empleado fue la comparación de medias para grupos homogéneos por el test de Tukey ($p \leq 0,05$), después de efectuadas las pruebas para comprobar la normalidad y homogeneidad de las varianzas. En el caso del conteo de esporas (observación al microscopio en Cámara de Neubauer) fue necesario transformar los datos calculando la relación entre el valor obtenido al final de la fermentación y el valor al inicio de la misma para realizar el procesamiento estadístico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cinética del crecimiento en placas de *T. harzianum* (IMI 314381) bajo campos magnéticos

La tabla 1 ofrece los diámetros promedio de la colonia de *Trichoderma harzianum* (IMI 314381), para los tratamientos de 60 mT y 80 mT, así como para el experimento sin tratamiento magnético (control). Las medias seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente unas de otras ($p \leq 0,05$).

A partir del análisis de varianza (ANOVA) seguido por el test de Tukey ($p \leq 0,05$) para grupos homogéneos, se observó que el diámetro de la colo-

nia resultó significativamente diferente con respecto al control a partir de las 24 horas para los experimentos realizados con inducciones magnéticas de 60 mT y 80 mT. Las colonias de *Trichoderma harzianum* (IMI 314381) tratadas con campos magnéticos de 80 mT presentaron un diámetro significativamente mayor a partir de las 36 horas, observándose valores superiores a los del resto de los tratamientos.

Estos resultados indican un aumento en la velocidad de crecimiento radial del hongo tratado magnéticamente, con respecto al hongo no tratado, probablemente debido a la aceleración de procesos metabólicos causada por la interacción del campo magnético con el hongo tratado.

Este comportamiento se mantuvo durante las 72 horas que duró el experimento, tal y como se observa en la figura 1. Estos resultados coinciden con los reportados en la literatura para *Verticillium lecanii* a 80 mT y 20 minutos de exposición al campo [3]. En este reporte se encontró un incremento de 4,82 % en la viabilidad del hongo tratado con campo magnético cultivado en frascos biotecnológicos sobre soporte de arroz con respecto al control no tratado.

La explicación de los efectos observados parece estar relacionada y la interacción del campo magnético con los organismos y procesos en general, mediante la existencia de un proceso de resonancia magnética entre la energía del campo y la energía elemental de los átomos y moléculas [13]. Igualmente se plantea una posible influencia de los campos en el equilibrio y velocidad de las reacciones que se producen, así como el desarrollo de procesos físico-químicos relacionados con la absor-

Tabla 1. Crecimiento radial de *T. harzianum* (IMI 314381) bajo campos magnéticos de 60 mT y 80 mT

Tiempo (h)	Diámetro promedio de la colonia (mm)		
	Tcontrol	TMag (60 mT)	TMag (80 mT)
0	0,00 $\pm$ 0,00 a	0,00 $\pm$ 0,00 a	0,00 $\pm$ 0,00 a
24	0,15 $\pm$ 0,00 a	4,22 $\pm$ 1,63 b	5,62 $\pm$ 0,34 b
36	15,45 $\pm$ 1,99 a	23,71 $\pm$ 0,49 b	29,4 $\pm$ 0,25 c
48	30,61 $\pm$ 2,29 a	43,36 $\pm$ 2,58 b	50,92 $\pm$ 1,11 c
60	54,24 $\pm$ 2,80 a	68,80 $\pm$ 2,89 b	80,84 $\pm$ 3,74 c
72	73,56 $\pm$ 3,26 a	81,82 $\pm$ 4,78 b	100,00 $\pm$ 6,74 c

Letras iguales en una misma fila indican que los valores no difieren significativamente ($p = 0,05$)

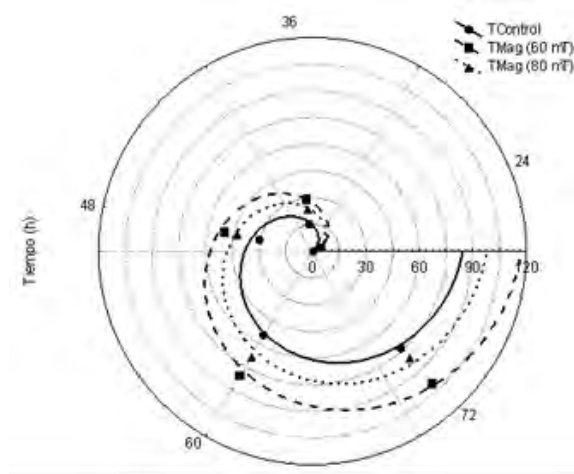


Figura 1. Crecimiento radial de colonias de *T. harzianum* (IMI 314381) bajo 15 minutos de exposición a campos magnéticos de 60 mT y 80 mT usando como sustrato Agar-Czapeck.

ción e interacción de la energía del campo con los tejidos y organismos como un todo [6]. Otros autores plantean que el campo magnético puede inducir cambios electroquímicos en la membrana celular, lo cual intensifica el metabolismo [14, 15].

Ajustando un modelo de regresión lineal a los datos reflejados en la tabla 1, se obtuvo las ecuaciones que describen la cinética de crecimiento de la colonia de *T. harzianum* (IMI 314381).

$$Dc = 1,5468 \cdot t - 39,4450 \quad (1)$$

$$Dc60 = 1,6690 \cdot t - 35,7290 \quad (2)$$

$$Dc80 = 2,0017 \cdot t - 42,7240 \quad (3)$$

Donde:

t: Tiempo (h)

Dc: Diámetro promedio de la colonia del experimento control (mm).

Dc60: Diámetro promedio de la colonia del experimento tratado con campo magnético a 60 mT (mm).

Dc80: Diámetro promedio de la colonia del experimento tratado con campo magnético a 80 mT (mm).

La pendiente de la ecuación lineal obtenida se identifica con la velocidad de crecimiento radial de la colonia (Kr). En este trabajo se obtuvo una mayor velocidad de crecimiento para el experimento realizado bajo un campo magnético de 80 mT (Kr = 2,0017 mm/h).

Se reporta que es posible establecer una correspondencia entre la velocidad de crecimiento radial de la colonia y la velocidad específica de crecimiento obtenida en cultivo sumergido. Esta relación permite que, en ausencia de inhibidores del crecimiento o limitación de nutrientes, la velocidad de crecimiento radial de la colonia sea empleada con éxito en la evaluación de los efectos de condiciones ambientales sobre el microorganismo [16].

Cultivo de *T. harzianum* (IMI 314381) en reactores de tipo columna (100 g), frascos de vidrio (200 g) y cama empacada (2 kg)

En la figura 2 se muestran los resultados para el conteo celular en muestras control y tratadas, a 80 mT durante 15 minutos para cultivos en los tres tipos de reactores: tipo columna (100 g), frascos de vidrio (200 g) y cama empacada (2 kg). En todos los casos se empleó el mismo sustrato (bagazo de caña, 80 % w/w, enriquecido con cabecilla de arroz, 20 % w/w).

Se observa que el hongo tratado magnéticamente alcanzó proporciones de producción de esporas superiores a las de los experimentos no tratados, en cada uno de los tres tipos de reactor emple-

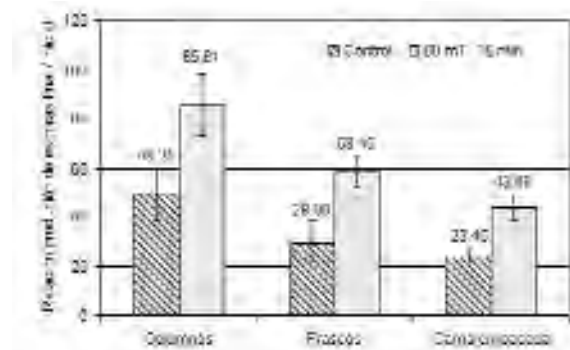


Figura 2. Comparación del efecto del campo magnético de 80 mT en el cultivo de *T. harzianum* (IMI 314381).

ados. Estos resultados son similares a los reportados previamente por Mas *et al.* [4] en los que se señala un aumento de alrededor de 30 % para cultivos tratados, durante 15 minutos a 60 mT. En el trabajo con otros hongos, Nagy reportó un aumento de un 10-70 % en la germinación de conidios de *Curvularia inaequalis* y *Alternaria alternata* en un campo magnético estático de 0,1 - 3,5 mT [17].

Los resultados obtenidos para el experimento control en el reactor tipo columna, no son significativamente diferentes de los obtenidos para frascos y cama empacada, incluso con tratamiento magnético. Esto sugiere que la geometría del reactor empleado es determinante en estos sistemas.

Cuando se comparan los tratamientos sin aplicación del campo magnético, se observa una disminución de la producción de esporas a medida que la escala aumenta. Este mismo efecto se observa cuando se comparan entre sí los experimentos tratados con el campo magnético. En las columnas de vidrio y las de cama empacada, que tienen características geométricas similares, se observa una disminución de la producción de esporas en 51,26 % para el experimento tratado con el aumento desde 100 g hasta 2 kg de sustrato. Algunos autores señalan que a mayor escala se producen mayores gradientes de temperatura y se dificulta más la eliminación del calor metabólico, lo cual puede traducirse en una mayor dificultad para controlar las variables del proceso, especialmente en sistemas estáticos, tales como columnas, frascos y bandejas [18, 19]. Debido a que el crecimiento se afecta en gran medida por los cambios de temperatura, la eliminación del calor es un aspecto importante para el escalado de sistemas sobre soporte sólido. Muchos autores han considerado esta como la razón por la cual los sistemas de FES no son tan desarrollados si se comparan con los sistemas sumergidos, a pesar de las ventajas que presentan para el crecimiento de hongos y de

que son conocidos y empleados en forma artesanal desde la antigüedad.

En la figura 3 se muestra la comparación de los valores finales de humedad en el cultivo de *T. harzianum* (IMI 314381) en reactores de tipo columna (100 g), frascos de vidrio (200 g) y cama empacada (2 kg) empleando como sustrato bagazo de caña, 80 % w/w, enriquecido con cabecilla de arroz, 20 % w/w para experimentos tratados y controles.

En todos los casos, existió una pérdida de humedad al culminar la fermentación. En las columnas de vidrio y de cama empacada, esta disminución fue más acentuada (figura 3). En ambos casos se trata de sistemas con paso de aire que contribuye al secado del agua presente en el sustrato.

En el caso de los frascos biotecnológicos, la humedad final del sistema disminuyó en un 14,27 % para el experimento tratado. Este tipo de sistema no tuvo aireación, lo que disminuyó el secado del sustrato, pero también reporta una disminución del conteo de esporas de 31,73 %. Se sugiere que este fenómeno se deba a que la fermentación es aerobia y el acceso al oxígeno es menor para los microorganismos en el interior del sustrato.

Aunque se trató de mantener las condiciones iniciales de humedad, sustrato, temperatura e inoculación constantes, la geometría de los sistemas empleados es diferente. En la colecta de las espo-

ras de la fermentación, se evidenció la formación de zonas de crecimiento diferenciadas en cada reactor. Esto fue más notable en el reactor de cama empacada, en el cual se manifestó aún más la presencia de zonas con bajo contenido de humedad y poco crecimiento del hongo, lo que incide en el contenido total de esporas reportado en la figura 2. Se sugiere que este tipo de sistema no es escalable en columnas porque disminuye el rendimiento y hay que buscar otras soluciones tecnológicas que incluyan la presencia de dispositivos mezcladores para mejorar la transferencia de oxígeno en el sustrato.

Mitchell *et al.* [20] reportaron que el mantenimiento de la homogeneidad en el sustrato representa el mayor desafío para la FES que emplea, como en el presente trabajo, soportes a partir de fuentes naturales no homogéneas, de forma tal que el empaquetamiento de volúmenes mayores causará caminos preferenciales de aire a través de la cama, afectando los resultados de producción deseados.

CONCLUSIONES

Los campos magnéticos de 80 mT aplicados durante 15 minutos estimulan el crecimiento celular de *Trichoderma harzianum* (IMI 314381). La aplicación del campo magnético a 80 mT durante 15 minutos en la fermentación sólida, puede aumentar la producción de esporas alrededor de un 50 % con respecto al sistema que no recibe tratamiento magnético, evidenciado por una velocidad de crecimiento obtenida en el estudio cinético realizado de 2,0017 mm/h. El escalado de la fermentación sólida de microorganismos aerobios con el empleo de columnas se ve limitado por la disponibilidad de nutrientes y oxígeno en el interior del sustrato.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a Coordenação de aperfeiçoamento de pessoal de nível superior (CAPES), Brasil, por el soporte financiero.

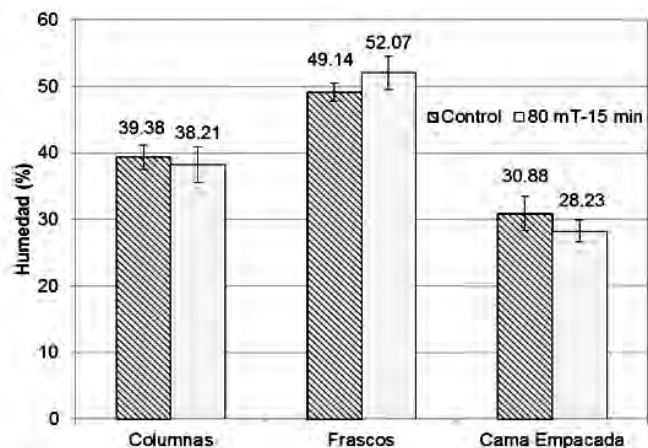


Figura 3. Valores promedio de la humedad final determinada en cada uno de los experimentos realizados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Harman, G.E.; Howell, C.R.; Viterbo, A.; Chet, I.; Lorito, M. *Trichoderma* species-opportunistic avirulent plant symbionts. *Nat. Rev. Microbiol.*, vol. 2, p. 43-56, 2004.
2. Chacón, D.; Haber, V.; Fong, A.; Mas, S.; Serguera, M.; Rodríguez, O. Influencia del campo electromagnético en el crecimiento de la levadura *Candida utilis* Y-660. *Revista Tecnología Química*, vol. 16, n. 1, p. 52-60, 1996.

3. González, A.; Serguera, M. Estudio preliminar sobre la influencia del campo electromagnético en el crecimiento de *Verticillium lecanii* por fermentación en estado sólido. *Revista Tecnología Química*, vol. 22, n. 2, p. 51-61, 2002.
 4. Mas, S.; González, A.; Campos, M.; Cabeza, D. Growth of *Trichoderma reesei* on static and dynamic solid substrate fermentation under electromagnetic fields, In: *New Horizon on Biotechnology*, Roussos, S.; Soccol, C. R.; Pandey, A.; Augur, C. Springer, p. 57-62, 2003.
 5. Polk, C.; Postow, E. *Handbook of biological effects of electromagnetic fields*, 2nd Ed. New York: CRC Press, 503 p., 1996.
 6. Barnes, F. S.; Greenebaum B. (eds.). *Handbook of biological effects of electromagnetic fields. Bioengineering and Biophysical Aspects of Electromagnetic Fields*. 3rd ed. New York, USA: CRC Press. 2006.
 7. Lonsane, B.K.; Saucedo-Castaneda, G.; Raimbault, M. Roussos, S.; Viniegra-Gonzalez, G.; Ghildyal, N.P.; Ramakrishna, M.; Krishnaiah, M.M. Scale-up strategies for solid state fermentation systems. *Process Biochemistry*, vol. 27. p. 259- 273, 1992.
 8. Roussos, S.; Olmos, A.; Raimbault, M.; Saucedo-Castañeda, G.; Lonsane, B.K. Strategies for large scale inoculum development for solid state fermentation system. *Biotechnology Techniques*, vol. 5, p. 415-420, 1991.
 9. Mitchell, D.; Krieger, N.; Berovic, M. *Solid-State Fermentation Bioreactors: Fundamentals of Design and Operation*. Springer Science & Business Media, 486 pp., 2006.
 10. Ruíz-Leza, H.A.; Rodríguez-Jasso, R.M.; Rodríguez-Herrera, R.; Contreras-Esquivel, J.C.; Aguilar, C.N. Diseño de biorreactores para fermentación en medio sólido. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, vol. 6, n.1, p. 33-40, 2007.
 11. Chen, H. Principles of Solid-State Fermentation Engineering and Its Scale-Up. In: *Modern Solid State Fermentation: Theory and Practice*. Springer Science & Business Media, p. 75-139, 2013.
 12. Raimbault, M.; Alazard, D. Culture method to study fungal growth in solid fermentation. *European Journal of Applied Microbiology and Biotechnology*, vol. 9, p. 199-209, 1980.
 13. Dini, L.; Abbro, L. Bioeffects of moderate-intensity static magnetic fields on cell cultures. *Micron*, vol. 36, n. 3, p. 195-217, 2005.
 14. Rosen, A.D. Studies on the effect of static magnetic fields on biological systems. *PIERS online*, vol. 6, n. 2, p. 133-136, 2010.
 15. Xiao-Wen L.; Li D.; Liang K.; Ning S.; Yu-Jiao Z.; Min-Ke W.; Jie-Fei S. Effects of moderate static magnetic fields on the voltage-gated sodium and calcium channel currents in trigeminal ganglion neurons. *Electromagnetic Biology and Medicine*. (online) <http://informahealthcare.com/doi/abs/10.3109/15368378.2014.906448>. 2014.
 16. Reeslev, M.; Kjølner, A. Comparison of biomass dry weights and radial growth rates of fungal colonies on media solidified with different gelling compounds. *Applied and environmental microbiology*, vol. 61, n. 12, p. 4236-4239, 1995.
 17. Nagy, P. The effect of light and low frequency magnetic fields on microscopic fungi. PhD thesis. Institute for Plant Protection. University of Veszprém. Keszthely, 2003.
 18. Bhanja, T.; Rout, S.; Banerjee, R.; Bhattacharyya, B. C. Comparative profiles of α -amylase production in conventional tray reactor and GROWTEK bioreactor. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, vol. 30, n. 5, p. 369-376, 2007.
 19. Raimbault, M. General and microbiological aspects of solid substrate fermentation. *EJB Electronic Journal of Biotechnology*, vol.1, n.3, 1998.
 20. Mitchell, D.A.; Berovic, M.; Krieger, N. *Biochemical Engineering Aspects of Solid State Bioprocessing in: New Products and New Areas of Bioprocess Engineering*, Berlin, Springer-Heildeberg, p. 61-138, 2000.
-

Diseño e integración del sistema de gestión de la energía al sistema de gestión de la calidad en la ronera central

"Agustín Rodríguez Mena"

Gladys Cañizares-Pentón¹, Mabel Cuevas-Hernández², Raúl Alberto Pérez-Bermúdez³, Erenio González-Suárez⁴

1. Oficina Territorial de Normalización; Carretera Central, km 303, Banda a Placetes. Villa Clara. Cuba. gladys@otn.vcl.cu
2. Ronera Central, Calle 2da. CAI George Washington, Santo Domingo, Villa Clara. Cuba.
3. Centro de Estudios Energéticos y Tecnologías Ambientales (CEETA), Facultad de Ingeniería Mecánica. Univ. Central de Las Villas (UCLV), Cuba.
4. Centro de Análisis de Procesos. Facultad de Química Farmacia. UCLV. Cuba

RESUMEN

En el trabajo se diseña e integra el sistema de gestión de la energía de la ronera central a su sistema de gestión de la calidad, a partir de la aplicación previa de un diagnóstico para realizar el análisis situacional de la ronera en relación a la problemática energética, del que se traza un plan de acciones para dar solución a las deficiencias identificadas. Se plantea la matriz para realizar el diseño, utilizando el modelo propuesto por la norma cubana NC ISO 50001:2011: "Sistemas de gestión de la energía-Requisitos con orientación para su uso", considerando los elementos del sistema de gestión de calidad existente en esa organización. Como resultado del trabajo, se realizaron modificaciones en la estructura documental del sistema base de gestión de calidad, entre los que se encuentran política, manual de gestión, programa de gestión de la energía y procedimientos, que garantizan la integración de la gestión energética cumpliendo los requisitos de dicha norma. La implementación de los cambios que se proponen, permiten a esa organización estar en condiciones de mejorar continuamente su desempeño energético y el desarrollo global organizacional, cumplir la legislación vigente aplicable y los compromisos trazados en su política.

PALABRAS CLAVE: Sistema de gestión de la energía, sistema de gestión de calidad, integración, desempeño energético, desempeño organizacional.

ABSTRACT

This paper designs and integrates the power management system for the rum factory concerning to its quality management system. A diagnosis to analyze the rum factory regarding to the energy problem was applied previously. Consequently, an action plan was established to resolve identified deficiencies. A matrix for the design was proposed; using the model suggested by the International Standard NC ISO 50001:2011 "Energy Management Systems - Requirements with guidance for use". The elements of the existing quality management system of the organization were considered. As a result of this work, changes in the structure of the document management of quality system, such as policy, management handbook, program of energy management and procedures which ensure that the integration of energy management is performed to fulfill the requirements of this standard. The implementation of the proposed changes leads the organization to a continuous improvement of their energy performance and overall organizational development, complying with the current legislation and the commitments outlined in its policy.

KEYWORDS: Power management system, quality management system, integration, energy performance, organizational performance.

INTRODUCCIÓN

El esquema energético global actual descansa en la utilización de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural) que son extingüibles, contaminantes en alto grado, concentrados en pocas regiones de la tierra, en manos de grandes consorcios transnacionales y utilizados de forma muy ineficiente. Ese modelo es insostenible por lo que se requiere el ahorro de energía y el incremento de la eficiencia en su uso, no solo por el aumento continuado de sus precios, sino también por el deterioro ambiental causado por la producción y su consumo [1].

Los análisis realizados en varias empresas cubanas ponen de manifiesto el insuficiente nivel de gestión que existe en muchas de ellas, así como las posibilidades de reducir los costos energéticos mediante la creación de capacidades técnico-organizativas para una administración eficiente. Esto se puede lograr al aplicar con eficacia un sistema de gestión energética como método de gerencia proactiva y sistemática de todos los factores, acciones y herramientas asociadas con la adquisición o generación de nuevo conocimiento en las empresas, en función de las nuevas estrategias de redimensionamiento y diversificación.

La gestión empresarial incluye todas las actividades de la función gerencial que determinan la política, los objetivos y las responsabilidades de la organización que se ponen en práctica a través de: la planificación, el control, el aseguramiento y el mejoramiento del sistema de la organización. En ese contexto la gestión energética se concibe como un esfuerzo organizado y estructurado para conseguir la máxima eficiencia en el suministro, conversión y utilización de portadores energéticos, mediante un conjunto de acciones técnico-organizativas para administrarlos eficientemente, que aplicadas de forma continua permiten establecer nuevos hábitos de dirección, control y evaluación de su uso [2].

Lo anterior se sintetiza en la Tecnología para la Gestión Total Eficiente de la Energía (TGTEE) de amplia utilización en el país, la cual consiste en un paquete de procedimientos, herramientas y software especializados, que aplicados de forma continua, con la filosofía de la gestión total de la calidad, permiten establecer nuevos hábitos de dirección, control, diagnóstico y uso; dirigidos al aprovechamiento de todas las oportunidades de ahorro y conservación, así como a la reducción de los costos y la contaminación ambiental asociada en una empresa [3].

Por otra parte, recientemente Cuba ha adoptado la ISO 50001: 2011 [4] como una norma cubana, que facilita a las organizaciones establecer los

sistemas y procesos necesarios para mejorar su desempeño energético, incluyendo la eficiencia energética y el uso y consumo de la energía. Su implementación está destinada a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y de otros impactos ambientales relacionados, así como de los costos energéticos a través de su gestión sistemática.

En esa norma se especifican los requisitos del sistema de gestión a partir del cual la organización puede desarrollar e implementar una política energética y establecer objetivos, metas, y planes de acción que tengan en cuenta los requisitos legales y la información relacionada con el uso significativo. Para ello se basa en el ciclo de mejora continua: Planificar - Hacer - Verificar - Actuar (PHVA) e incorpora la gestión de la energía a las prácticas habituales de la organización. El documento está basado en los elementos comunes de las normas ISO de sistemas de gestión, asegurando un alto grado de compatibilidad, principalmente con las normas ISO 9001 [5] e ISO 14001 [6].

Uno de los requisitos de esta norma se refiere a la revisión energética, que constituye la piedra angular del sistema y puede entenderse como el diagnóstico de la organización a fin de encontrar las causas del bajo nivel en eficiencia energética. Como la norma exige documentar la metodología y criterio utilizados para dicha revisión, la TGTEE, se presenta como una poderosa herramienta para su realización.

La aplicación del modelo de gestión de la norma cubana NC ISO 50001:2011 [7], resulta conveniente para mejorar el desempeño energético de cualquier organización, aplicando su gestión sistémica de forma integrada con el sistema de gestión de calidad implantado, al compartir elementos comunes con este. El Sistema de Gestión Integrado se puede definir como aquel constituido por la unión de todos los sistemas de gestión, tradicionalmente dirigidos de manera independiente en una organización, formando un todo, es decir, un sistema único, compuesto por un conjunto de elementos mutuamente relacionados, que a través de una serie de actividades coordinadas, permite dirigir y controlar una organización en varias actividades, a partir de una política y objetivos comunes [8].

En la actualidad existe una tendencia internacional a la integración de los diferentes sistemas de gestión dentro de la organización, siendo los de calidad-medio ambiente los más difundidos [9]. En Cuba se dispone de un documento normalizativo que toma como base la Especificación Públicamente Disponible, conocida como PAS 99:2008 por sus siglas en inglés [10], que establece la "Especificación de requisitos comunes del sis-

tema de gestión como marco para la integración", lo cual permite a las organizaciones cubanas disponer de un documento como referencia en el proceso de integración. Sin embargo, cada organización debe decidir la manera en que integra los diversos sistemas que gestiona, en dependencia de sus características propias.

Trabajar en la integración y optimización de los sistemas de gestión empresariales, más que una variante para el logro de la efectividad empresarial, constituye hoy para la empresa cubana una oportunidad nada despreciable para poder acceder y alcanzar éxitos en los complejos y globalizados escenarios nacionales e internacionales. En ese sentido existe una proyección de la Ronera Central "Agustín Rodríguez Mena", cuya misión es la producción y comercialización de alcoholes, rones y otras bebidas alcohólicas, en sus dos emplazamientos físicos: UEB destilería y UEB ronera.

Esta organización requiere la implantación y consolidación de un sistema de Dirección y Gestión que garantice la administración eficiente de todos los recursos, identificándose como problema la no incorporación de la gestión de la energía al sistema de gestión empresarial, ni al del Sistema Corporativo Cuba Ron, como elemento fundamental para lograr satisfacer eficientemente sus necesidades energéticas y obtener productos más competitivos al cumplir los requisitos de los clientes con el menor gasto energético posible

METODOLOGÍA EMPLEADA

Como paso previo al diseño, para la implementación del sistema de gestión de la energía (SGEn) integrado a su sistema de gestión de calidad (SGC), fue desarrollado el diagnóstico energético o revisión energética preliminar, aplicando la metodología "Tecnología de Gestión Total Eficiente de la Energía (TGTEE)", trabajo presentado anteriormente [11, 12].

Como resultado del diagnóstico realizado se identifican como deficiencias energéticas fundamentales las pérdidas de energía por falta de aislamiento térmico de las columnas de destilación, caldera y tuberías, obsolescencia tecnológica de columnas, generador de vapor y planta de tratamiento de agua. A partir de las deficiencias identificadas, se plantean las acciones para su solución con vistas a mejorar el desempeño energético y facilitar la integración de la gestión energética al sistema de gestión existente.

La preparación del SGEn de esta organización partió de plantear un diseño que toma el modelo propuesto por la norma cubana NC ISO 50001:

2011, identificando los requisitos comunes con el sistema base de gestión de la calidad, modificando, de ser necesario, los requisitos comunes, e integrando los requisitos no comunes en el sistema de gestión actual [13].

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En tabla 1 se muestra la matriz de diseño planteada para el desarrollo del trabajo, donde se relacionan a la izquierda los requisitos exigidos por esta norma y a la derecha el lugar donde se demostrará su cumplimiento dentro del sistema actual, o la necesidad de elaboración/adecuación de documentos, para conformar el soporte documental del sistema de gestión de la energía de forma integrada al sistema de gestión existente en la organización.

A partir de lo anterior y tomando en consideración toda la información obtenida como resultado del diagnóstico realizado, se propone como diseño del sistema de gestión de la energía integrado al sistema de gestión de la calidad, lo siguiente:

- Declaración del compromiso de la alta dirección en relación a la gestión energética (política de gestión).
- Soporte documental del sistema de gestión integrado, distribuido por niveles, que incluye:
 1. Manual de gestión.
 2. Plan de acciones para la gestión de la energía que contiene los objetivos y metas para la mejora del desempeño energético.
 3. Documentos que son necesarios modificar o introducir al sistema para demostrar conformidad con la norma NC ISO 50001:2011, según se especifica en la matriz de diseño documental.
 4. Normas, instrucciones y registros necesarios.

Fueron modificados los siguientes documentos: Procedimientos generales: PG 100/03: "Gestión de documentos", PG 100/04: "Auditorías internas", PG 100/05: "Contratación económica", PG 100/06: "Identificación y tratamiento de no conformidades", PG 100/09: "Evaluación de proveedores", PG 190/08: "Inspección inicial de productos comprados", "Procedimientos técnicos": PT 170/05: "Aseguramiento material", PT 180/01: "Control de los instrumentos de medición", así como las Fichas de los procesos, Instrucciones de trabajo y Matrices de competencia laboral.

En la figura 1 se muestra un diagrama de flujo, con el nuevo procedimiento para la gestión de la energía que fue necesario introducir al sistema con código (PT-180/02), de acuerdo a lo que

Tabla 1. Matriz de diseño documental

NC ISO 50001: 2011		Ubicación en el sistema actual de la organización
Requisitos	Título	
4.1	Requisitos generales	Manual de Gestión
4.2	Responsabilidad de la dirección	
4.2.1	Alta dirección	Manual de Gestión
4.2.2	Representante de la dirección	Manual de Gestión. Resolución de nombramiento
4.3	Política energética	Política de gestión
4.4	Planificación	
4.4.1	Generalidades	Planificación estratégica
4.4.2	Requisitos legales y otros requisitos	Procedimiento General, PG 100/03. Gestión de la documentación
4.4.3	Revisión energética	No está definido, elaborar nuevo procedimiento para la gestión de la energía
4.4.4	Línea de base energética	No está definido, elaborar nuevo procedimiento para la gestión de la energía
4.4.5	Indicadores de desempeño energético	Fichas de proceso
4.4.6	Objetivos energéticos, metas energéticas y planes de acción para la gestión de la energía.	No existe, elaborar plan de acciones de gestión de la energía partiendo del programa de ahorro energético existente
4.5	Implementación y operación	
4.5.1	Generalidades	Manual de Gestión
4.5.2	Competencia, formación y toma de conciencia.	Manual de Gestión Procedimiento general PG -120/01. Gestión de los recursos humanos
4.5.3	Comunicación	Manual de Gestión
4.5.4	Documentación	Procedimiento General PG 100/03. Gestión de la Documentación
4.5.5	Control operacional	Instrucciones de trabajo de equipos y operaciones
4.5.6	Diseño	Ficha de proceso FP 100/01. Gestión de la Dirección
4.5.7	Adquisición de servicios de energía, productos, equipos y energía.	Procedimientos Generales. PG 100/09: Evaluación de proveedores, PG 100/05. Contratación económica., PG 190/08. Inspección inicial de productos comprados. Procedimiento técnico PT 170/05. Aseguramiento técnico material.
4.6	Verificación	
4.6.1	Seguimiento, medición y análisis	Procedimiento técnico PT 180/01. Control de los instrumentos de medición. Nuevo procedimiento para la gestión de la energía.
4.6.2	Evaluación del cumplimiento de los requisitos legales y otros requisitos.	Manual Sistema de Gestión Procedimiento General PG 100/03.
4.6.3	Auditoria interna al sistema de gestión de la energía.	Procedimiento General PG 100/04
4.6.4	No conformidades, corrección, acción correctiva y acción preventiva.	Procedimiento General PG 100/06
4.6.5	Control de los registros.	Procedimiento General PG 100/03
4.7	Revisión por la dirección	Manual Sistema de Gestión

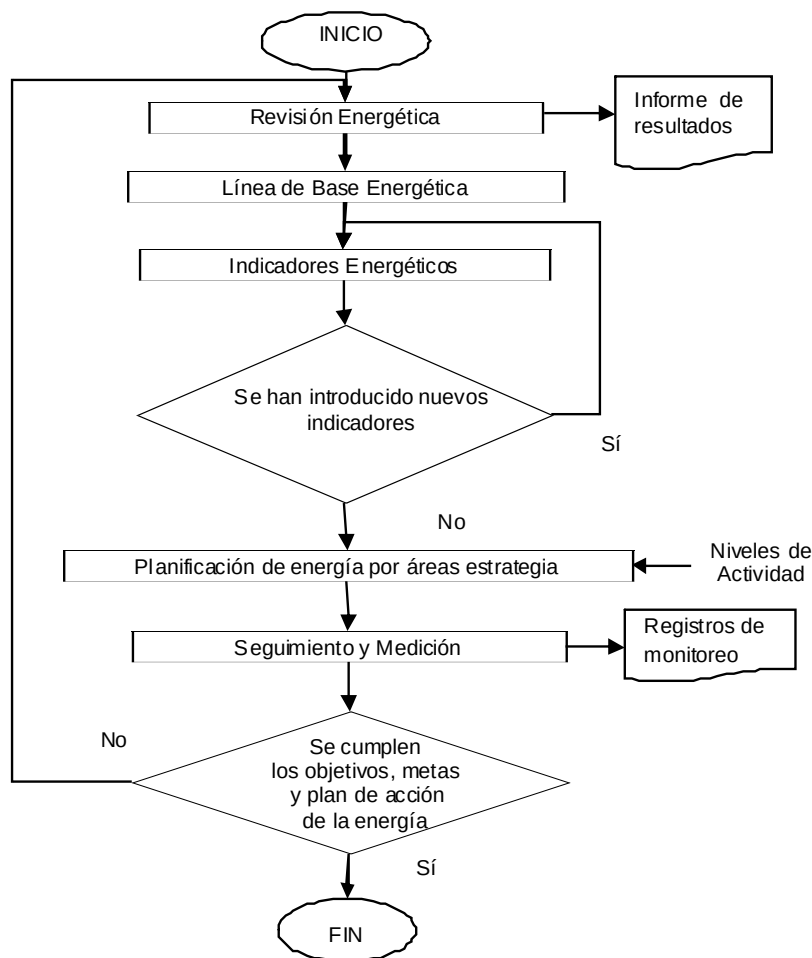


Figura 1. Nuevo procedimiento para la gestión de la energía (PT-180/02).

exige el procedimiento de "Gestión de documentos" de esa organización. El código PT - 180/02 significa:

-PT: Procedimiento Técnico.

-180: Código asignado a la UEB servicios, dirección que dirige y controla la gestión de la energía.

-02: Número consecutivo asignado a este procedimiento dentro de la UEB servicios.

Como se observa en la figura, el procedimiento organiza las actividades que se deben desarrollar en la ronera para garantizar el cumplimiento de los requisitos de planificación energética de la norma NC-ISO 50001:2011: ejecución del diagnóstico o revisión energética, establecimiento de la línea base energética, los indicadores y como proceder ante nuevos indicadores, actividades de seguimiento y medición, así como el control hacia el cumplimiento de los objetivos, metas y el plan de acción de la energía.

Todas las modificaciones introducidas implicaron acciones de capacitación, según lo establecido en el procedimiento para la formación del personal, del proceso de capital humano.

El análisis económico del trabajo realizado parte de evaluar la factibilidad económica de las acciones del diagnóstico energético realizado, las que representan un ahorro de \$ 83 784,46/año y un gasto de \$ 235 675. A modo de ejemplo, en tabla 2 se ilustran 3 de las 23 acciones identificadas.

Hasta la fecha se ha ejecutado el 64 % del total de acciones planteadas representando estas un ahorro de \$11 510,5/año, lográndose una disminución de los índices de consumo de electricidad, crudo e intensidad energética en el 2011 respecto al período de diagnóstico.

Para determinar la factibilidad económica se utiliza la hoja de cálculo de un software diseñado por especialistas de la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, programado en

Tabla 2. Acciones identificadas en el diagnóstico

Acciones	Responsable	Fecha cumplimiento	Principales impactos	Ahorro (\$)
Aislar térmicamente tuberías de vapor y caldera	Jefe de mantenimiento	Febrero 2011. cumplida.	Reduce el consumo de crudo y la emisión de CO ₂ a la atmósfera	80 t/año \$ 17504/ año
Aislar térmicamente las columnas de destilación. Costo total: 25000 MT (moneda total)		Diciembre 2012. El sistema de destilación está sujeto a cambios.		
Eliminar salideros de vapor y alcohol en los equipos y tuberías. Costo: \$ 400 MT	Jefe de mantenimiento	Junio 2011. Cumplida.	Reduce el consumo de crudo y la carga contaminante de las corrientes residuales	2,4 MWh/año \$ 301,2/ año

Tabla 3. Factibilidad económica de las acciones identificadas en el diagnóstico

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Producción (hL/año)	16000,00	18000,00	20000,00	20000,00	20000,00
Ingresos (\$/año)	83784,45	90771,68	97758,91	97758,91	97758,91
Costos variables (\$/año)	39026,26	39026,26	39026,26	39026,26	39026,26
Amortización (\$/año)	15577,15	15577,15	15577,15	15577,15	15577,15
Beneficios (\$/año)	29181,04	36168,27	43155,50	43155,50	43155,50
Imp.*Beneficios (30 %*Benef.)	8754,31	10850,48	12946,65	12946,65	12946,65
Ingresos netos	20426,73	25317,79	30208,85	30208,85	30208,85

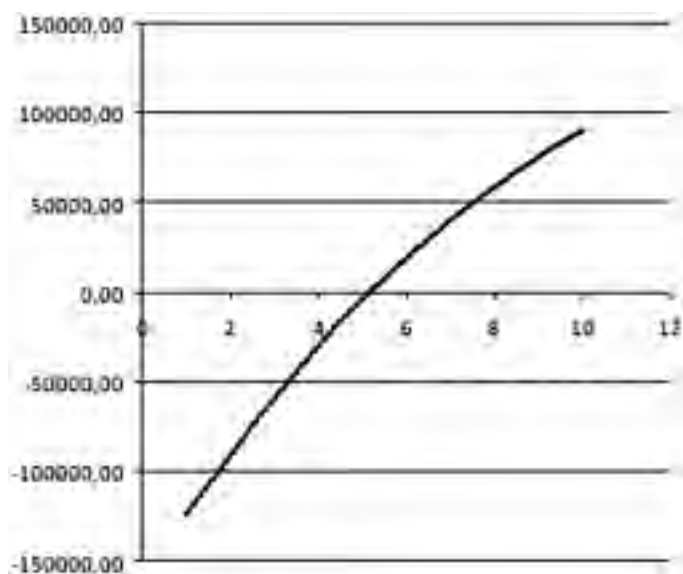


Figura 2. Período de recuperación de la inversión.

Excel, considerando los niveles de producción, ahorros y gastos previstos. En tabla 3 se muestran los resultados solo para un período de 5 años.

En base a 10 años, los principales indicadores dinámicos obtenidos fueron:

VAN: \$ 80621,82

TIR: 24 %

PRD: 3,5 años (valor del período de recuperación simple)

El valor del período de recuperación de la inversión, teniendo en cuenta la variación del valor del dinero en el tiempo, es igual a 5 años, según se muestra en figura 2.

Como resultado del análisis se obtiene que es factible la ejecución de esas acciones, no solo por su efecto económico al lograr mejorar la eficiencia energética de la organización sino por su impacto medioambiental. Estos se corroboran a través de:

- El 64 % de las acciones identificadas como resultado del diagnóstico realizado ya se han implementado siendo evaluado su efecto económico en \$ 11 510,5/año.

- Las acciones ejecutadas han contribuido a reducir el impacto ambiental de los procesos que se desarrollan en la organización al disminuir la carga contaminante de las corrientes residuales, las emisiones de gases a la atmósfera, los consumos de agua y energía.
- El trabajo fue desarrollado por personal de la organización, por lo que no fue necesario la contratación de servicios de consultoría para realizar el diagnóstico energético y diseño del sistema de gestión de la energía de forma integrada al sistema de gestión actual, se valoraron los costos de estos servicios en \$ 15 000 aproximadamente.

CONCLUSIONES

1. La aplicación de las herramientas de la TGTEE para la realización del diagnóstico energético de la organización, permitió identificar las deficiencias energéticas, los principales potenciales de ahorro y trazar el plan de acciones a aplicar para mejorar la eficiencia energética de la organización. La implementación del 64 % de las acciones ha permitido alcanzar un ahorro de \$ 11 510,5.
2. Para garantizar la administración eficiente de todos los recursos y satisfacer eficientemente las necesidades energéticas de la ronera central, se diseñó un sistema de gestión de la energía integrado al sistema de gestión de calidad existente bajo el modelo de la NC ISO 50001:2011, lo que permitirá la mejora de su gestión empresarial.
3. El diseño del Sistema de gestión de la energía integrado al sistema de gestión de calidad de la ronera central, logró la minimización de 8 procedimientos declarados en la NC ISO 50001:2011, al estar establecidos en el sistema de la organización, siendo necesario elaborar solo un nuevo procedimiento que organiza la gestión de la energía.
4. La evaluación económica social realizada muestra la factibilidad del proyecto, por cuanto

las inversiones que se requieren se recuperan en un periodo de tiempo de 5 años.

RECOMENDACIONES

1. Generalizar la aplicación de las herramientas de diagnóstico energético para identificar las principales deficiencias energéticas de las organizaciones.
2. Concluir la implementación del diseño propuesto del sistema de gestión de la energía integrado al sistema de gestión de calidad existente, para la mejora continua del desempeño energético de la entidad y de su gestión empresarial.
3. Diseñar sistemas de gestión empresariales que integren la gestión ambiental y la energética que coadyuven a la mejora de la gestión empresarial en su conjunto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Almira M, J. Temas de Ingeniería eléctrica. 2da ed .Tomo I. 19-43 pp. Ed. Félix Varela, La Habana, Cuba, 2009.
2. Guerra J, J. Las empresas de servicios energéticos como instrumento para la eficiencia energética. Centro de eficiencia energética de Zaragoza. <http://catedracemex.unizar.es>.2011.
3. Borroto N, A. Gestión energética en la agroindustria de la caña de azúcar. Seminario internacional sobre energía en la agroindustria azucarera, La Habana, Cuba, 2000.
4. ISO. Energy management systems. Requirements with guidance for use. ISO 50001:2011
5. ISO. Quality management systems. Requirements. ISO 9001:2008
6. ISO. Environmental management systems. Requirements with guidance for use. ISO 14001:2004
7. NC Sistemas de gestión de la energía. Requisitos con orientación para su uso. Norma Cubana NC-ISO 50001:2011. La Habana. Cuba. Oficina Nacional de Normalización. 2011
8. Naz, P. R. Los Sistemas integrados de gestión como vía para un desarrollo sostenible. Evento Internacional Calidad 2006. La Habana, Cuba, 2006
9. Stanislaw Karapetrovic, Marti Casadesus, Iñaki Heras, "Empirical analysis of integration within the standards-based integrated management systems" publicado en International Journal for Quality research Vol 4 No.1, 2010.
10. NC PAS 99:2008. Especificación de requisitos comunes del sistema de gestión como marco para la integración. La Habana. Cuba. Oficina Nacional de Normalización. 2008.
11. Cuevas H, M, Cañizares P, G, Pérez B, R. Diagnóstico para la implementación de un sistema de gestión energética, integrado al sistema de la calidad de la UEB "Ronera Central" de Villa Clara. Conferencia Científica Internacional Medio Ambiente Siglo XXI (MAS XXI). Villa Clara. Cuba. 2011.
12. Cañizares P, G, Cuevas H, M, Placeres R, A, Pérez B, R. Diagnóstico de la política científica en las investigaciones de los procesos de obtención de rones para mejorar la aptitud ambiental y energética del proceso. Trabajo aceptado para publicar. Revista ICIDCA. La Habana. Cuba. 2014.
13. Cuevas H, M. "Diseño del sistema de gestión de la energía integrado al Sistema de gestión de la calidad de la Ronera Central". Tesis en opción al título académico de máster en gerencia de la Ciencia y la innovación. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Santa Clara. Cuba. 2012.



Fitomas-E seco. Tecnología y aplicaciones

José Villar-Delgado, Felipe Campo-Rodríguez, Bárbara-Hernández Cruz

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)
Vía Blanca 804 y Carretera Central, La Habana, Cuba
jose.villar@icidca.azcuba.cu

RESUMEN

En el trabajo se describen las experiencias en escala de laboratorio y planta piloto para la obtención del bionutriente Fitomas-E en fase sólida como polvo seco y algunas aplicaciones de esta variante en diferentes cultivos agrícolas. Su producción como polvo seco disminuye en casi un 60 % la masa del producto, esto implica apreciables ventajas en cuanto al ahorro de agua, la disminución de gastos de transporte y almacenamiento y el empleo de envases más económicos como son las bolsas de polietileno en lugar de los bidones de este mismo material que se emplean en estos momentos. Se ensayaron dos variantes de secado en planta piloto: secado por aspersión con secador de atomización por disco centrífugo y secador de doble tambor de película. Mediante ambos sistemas se secó el principio activo del bionutriente que con los macroelementos (NPK) constituye el producto que se comercializa y emplea para su aplicación en la agricultura. Las características del material seco por ambas variantes no difieren apreciablemente y son adecuadas para la conservación del producto. Desde el punto de vista económico, por el menor valor de la inversión y su mayor eficiencia térmica, la alternativa de secado por tambor tiene las mayores ventajas para llevar a cabo esta operación. La aplicación en cultivos varios y caña de azúcar muestran que la eficacia del producto seco compara satisfactoriamente con la del producto en suspensión acuosa.

PALABRAS CLAVE: Fitomas, secado, bionutrientes, secadores.

ABSTRACT

Experiences at laboratory and pilot plant scales for the production of Fitomas-E in solid phase as dry powder and some of its agricultural applications are reported in this paper. Currently Fitomas-E is obtained at industrial scale as an aqueous suspension with 32 % of dry matter. Production as dry powder reduces about 60 % of product mass, which implies several advantages as reduction of water consumption, lower storage and transportation costs and a more economic packing materials i.e. polyethylene bags instead of 20-liters containers, which is used present day. Two dry pilot plant variants were studied: spray dryer and double drum dryer. Fitomas active principle was dried by these variants, which mixed with the macro-elements (NPK) is the commercial product used as agricultural biostimulant. The characteristics of dry material characteristics are quite similar for both variants and are appropriated for product conservation. From the economical point of view drum dryers present significant advantages because of its lower investment cost and highest thermal efficiency. Results in agricultural applications (corn and flowers) of dry product show that it compares satisfactorily with the aqueous commercial variant.

KEYWORDS: Fitomas, dryng, bionutrients, dryers.

INTRODUCCIÓN

El bionutriente Fitomas-E [1] actualmente se produce como una suspensión acuosa al 32 % de materia seca. El producto seco está constituido por un principio activo (PA) más macronutrientes (fuentes de NPK). Su forma seca puede tener apreciables ventajas como son: ahorro de agua, menores costos de envase, menores gastos de transportación y almacenamiento y mejores condiciones para la exportación. Se ensayaron dos técnicas de secado: por aspersión y tambor rotatorio de película. Se determinaron las características de los productos secos y se propone un esquema tecnológico para su producción. Se presentan los resultados de las aplicaciones del Fitomas-E seco en dos cultivos agrícolas.

El bioestimulante Fitomas-E se produce actualmente en suspensión acuosa con un 32 % de materia seca envasado en bidones de 20 litros de polietileno. Esta variante implica una baja eficiencia en la transportación por el volumen del agua el pobre aprovechamiento del medio de transporte al no poder colocar más de dos filas de bidones sobre el mismo, lo cual también encarece el almacenamiento, por otro lado el envase en bidones de polietileno es uno de los elementos más importantes del costo del producto. El trabajo tiene como objetivo superar las insuficiencias anteriores para lo cual sería imprescindible lograr un producto más concentrado. La concentración por evaporación para incrementar el por ciento de materia seca no es posible dado la insolubilidad de las sales al disminuir el volumen de la suspensión por lo que se hace necesario el secado para obtener un producto en fase sólida. Este producto seco tiene además como ventajas no usar preservante para su conservación y facilitar su posible exportación.

Tabla 1. Características de principio activo (PA) y el formulado de Fitomas-E

Índice	Principio activo		Formulado	
	Valor	DS	Valor	DS
Materia seca, %	21,61	0,48	33,55	0,7261
pH	3,80	0,18	1,84	0,043
Densidad aparente, gL ⁻¹	1,06	0,013	1,13	0,005
Sólidos solubles, % MS	63,66	5,19	-	-
Nitrógeno total, % MS	7,48	1,66	-	-
Nitrógeno amínico % MS	0,084	0,0070	-	-
Cenizas, % MS	8,70	0,73	-	-

DS: Desviación estándar

MATERIALES Y MÉTODOS

Características de los productos

Los productos a secar son el principio activo (PA) y el formulado de Fitomas-E, ambos en suspensión acuosa. En la tabla 1 se brindan las características de los mismos y en la tabla 2 la composición del formulado.

Tabla 2. Composición del Fitomas-E

Componente	gL ⁻¹	% peso/ peso
Principio activo	150	13
N total	55	4,8
K ₂ O	60	5,24
P ₂ O ₅	31	2,7

Secado en laboratorio

Formulado acuoso

Se empleó un secador por aspersión SD-Basic-LabPlant de tobera con capilar de entrada para el producto con un diámetro de 0,5 mm. Se demostró la imposibilidad de secar en este tipo de secador el formulado de Fitomas-E como suspensión acuosa. La baja temperatura de transición vítrea de alguno de los componentes del producto [2] hace que el material exhiba un alto grado de apelmazamiento (pegajosidad) durante el proceso de secado.

Principio activo

El PA se secó satisfactoriamente y se obtuvo un polvo seco marrón claro con 5-6 % de humedad y 3-4 de pH, a temperatura de entrada, T_e, de 150 °C y temperatura de salida, T_s, de 95 °C. Este tipo de ensayo en secador de laboratorio no puede ser extrapolado, ya que en la industria se emplearían secadores a mayor temperatura y de disco centrífugo, solo es de interés con vistas a conocer la posibilidad de secar el material por la técnica de aspersión.

Secado en planta piloto del principio activo

Secado por aspersión

Se realizó el secado del PA en un equipo de aspersión con atomización por disco centrífugo con una capacidad de 75 kgh⁻¹ de agua evaporada. Este dispositivo de atomización [3] es el más empleado en los equipos industriales y el más conveniente para nuestro producto.

Las condiciones de secado fueron las siguientes:

Régimen de temperaturas en el secador:

$T_e = 280\text{ }^{\circ}\text{C}$

$T_s = 95\text{ }^{\circ}\text{C}$

T_e = Temperatura de entrada

T_s = Temperatura de salida

Características del PA en suspensión acuosa a secar:

Materia seca: 21,6 %

Densidad: 1,076 g/mL¹

pH: 3,35

Viscosidad: 171 cp

Se obtuvo un polvo color marrón claro con humedad de 5 % y pH de 3,0. Estas características son adecuadas para la conservación del producto. Estos resultados serían extrapolables a secadores industriales de disco centrífugo donde la temperatura de entrada se puede incrementar algo más para tener la mayor eficiencia térmica posible del secador. En Cuba hay experiencia con este tipo de secador por aspersión [4] instalados con capacidades de 40 t/día de producto seco en plantas de levadura torula.

Secado en tambor rotatorio de película

Obviamente el formulado acuoso tampoco puede ser secado por esta variante. Esta es otra alternativa [5] para el secado del principio activo. El mismo se realizó en un secador de planta piloto con un solo tambor y dos rodillos de alimentación con capacidad de 50 Lh⁻¹ de agua evaporada.

Las condiciones de secado fueron las siguientes: Agente de calentamiento: Vapor saturado 0,5 MPa Temperatura: 140 °C

El principio activo empleado reúne características similares al usado para el secado por aspersión. Se obtiene un producto en escamas de color carmelita con humedad 6-8 % y pH 3,4. Estos resultados permiten el escalado a secadores industriales de los cuales se tiene experiencia en Cuba por haberse instalado para el secado de levadura *Saccharomyces cerevisiae* recuperada en destilerías de alcohol [6]. Se requiere la instalación adicional de un molino para llevar el material al tamaño de partícula apropiado para el producto final.

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Forma de presentación del producto en función de su conservación

Formulado de Fitomas-E seco

Se elabora un formulado de Fitomas-E constituido por el PA seco + macroelementos (NPK). En

este caso se mezclan el PA y las fuentes de NPK (sales con muy baja humedad) y se envasa en bolsas de polietileno. Sus características son como promedio: humedad 3,4 %; pH 3,5 y densidad aparente 500 kg/m³.

De acuerdo a experiencias llevadas a cabo en el Centro de Envases del Instituto de Investigaciones de la Industria Alimenticia [7] y en laboratorios del Icidca con el paso del tiempo se presentan en el producto áreas negras pegajosas que alteran la textura y propiedades del mismo, por lo que no puede ser conservado por períodos superiores a un mes.

El PA, sin embargo, envasado en las bolsas de polietileno se puede conservar por más de un año sin deterioro del producto ni de sus propiedades.

Presentación en forma de kit

La imposibilidad de conservar el formulado se debe a la interacción del principio activo con la fuente de nitrógeno que aun en presencia de baja humedad origina áreas pegajosas de color oscuro. En función de evitar este proceso se propone la presentación del producto en forma de un kit constituido por el principio activo seco y la mezcla de macronutrientes envasados separadamente en bolsas de polietileno. Este kit equivalente a un volumen del producto en suspensión acuosa convencional se dispersa en agua para obtener la dosis apropiada que se aplica en los cultivos agrícolas.

1 kg de Fitomas-E (kit) = 2,4 kg de Fitomas-E (suspensión acuosa convencional)

Tecnología de producción

La tecnología de producción del Fitomas-E (kit) implica las siguientes etapas:

- Producción del principio activo.
- Secado del principio activo.

Se selecciona entre las dos variantes ensayadas. En este caso la variante con mayores ventajas desde el punto de vista económico es el secador de tambor rotatorio de película [8]. Para una planta de 1 240 t del producto seco (equivalente a 3 MM de litros del convencional) se requiere, en comparación con el secado por aspersión, una inversión 2,8 veces menor, mientras el gasto por kg de producto seco es 40 % menor.

- Mezcla de los macroelementos (sales que son fuente de NPK)
- Envase en bolsas de polietileno del principio activo y la mezcla de sales por separado y a su vez el kit constituido por ambas bolsas.

En la figura 1 se muestra un esquema del proceso de producción del producto seco.

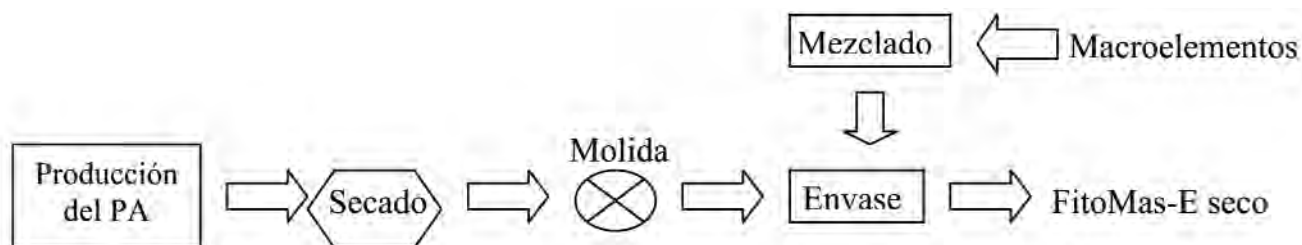


Figura 1. Esquema del proceso de producción de Fitomas-E seco en polvo.

Consideraciones económicas

Un estimado del efecto económico del secado del Fitomas-E indica que los gastos por amortización y mantenimiento de la inversión, (que incluye además mezcladora y máquina de envasado), gastos de combustible, electricidad y fuerza de trabajo incrementan el gasto por kg de producto en 0,18 pesos, mientras que los ahorros por transportación, almacenamiento, sustitución de bidones de polietileno por bolsas de este material y menos gastos de materiales ascienden a 0,53 pesos por kg, lo que implica una reducción del gasto en 0,35 pesos/kg de producto.

Resultados de la aplicación de Fitomas-E seco en diferentes cultivos

En las tablas 3, 4 [9] y 5 [10] se muestran los resultados de la aplicación de Fitomas-E seco y su comparación con el producto en suspensión acuosa en diferentes cultivos. Las pruebas fueron realizadas en el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (Inca) y en el Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (Inica).

Tabla 3. Resultados en tomate. Experiencias en casa de cultivo (Inca)

Tratamiento	Número de frutos. planta ⁻¹	Rendimiento. planta ⁻¹ (kg)
Fitomas seco	12,4 a	1,94 a
Fitomas suspensión	11,6 a	2,16 a
Control (sin Fitomas)	6,8 b	1,34 b

Medias con letras iguales no difieren según Duncan para $p < 0,001$

Tabla 4. Resultados en rábano. Huerto (Inca)

Tratamiento	Diámetro de los frutos (mm)	Peso de 15 frutos (g)
Fitomas E suspensión	3,01	350,0
Fitomas seco	3,03	325,0

Se observa que no existen considerables diferencias en los rendimientos entre el producto seco y en suspensión para los cultivos presentados.

Tabla 5. Resultados en caña de azúcar. Experiencias en campo (Inca) enero 2014

Tratamiento	Rendimiento t/ha	Incremento rendimiento %
Fitomas-E seco (equiv. 4 L/ha)	79,1	25,4
Fitomas-E suspensión, 4 L/ha	72,9	15,5
Testigo (sin tratamiento)	63,1	-

CONCLUSIONES

El Fitomas-E seco en polvo posee una serie de ventajas con relación al producto convencional en suspensión acuosa:

- Ahorro de agua. Se ahorran 600 m³ de agua que se dejan de consumir en la formulación del producto en suspensión acuosa.
- Ahorro del material de envase (sustitución de 150 000 bidones de 20 litros de polietileno por bolsas plásticas de tamaño y material adecuados).
- Ahorro en el transporte del producto. Se dejan de transportar 2 200 t (520 m³) del producto y se aprovecha mejor el área de transportación. Los bidones se deforman en estibas de más de dos.
- Ahorro en el área de almacenamiento con un menor volumen a almacenar. Además mucho mejor aprovechamiento del área en la estiba con bolsas que con bidones plásticos.
- Se estima en general un ahorro de 0,35 pesos por kilogramo de producto seco.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Montano, R.; Zuanábar, R.; García, A.; Viñals, M.; Villar, J. Bionutriente derivado de la industria azucarera. La Habana. .Rev. ICIDCA. sobre los derivados de la caña de azúcar. 41 (3) p. 14-17, 2007.
 2. Gianfrancesco, A. Sechage par atomisation: proprietes de collage des particules en relation avec l'agglomeration. These pour obtenir le grade de Docteur. Institut des Sciences et Industries du vivant et de la Environnement. 192 pp., 2009.
 3. Moller, J.; Fredstet, S. Chemical Engineering. USA. November, 34-40, 2009.
 4. ICIDCA. Manual de los Derivados de la Caña de Azúcar. La Habana. 485p., 2000.
 5. Walas, S.M. Chemical Process Equipment. Selection and Design (Butterworth-Heineman Ed.) USA pp. 254-263, 1990.
 6. Argudín, O. Análisis técnico económico del secado de la crema de levadura mediante el uso de secadores de tambor contra secadores de atomización CubaAzucar. La Habana, Julio-agosto, 28-37, 1967.
 7. Padrón, S. Informe de Ensayo. Laboratorio de Envases. Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia. La Habana. 4 pp., 2012.
 8. Villar, J.; Campo, F; Hernández, B. Análisis comparativo de alternativas de secado del bionutriente FitoMas-E. Diversificación 2013. Congreso Internacional sobre Azúcar y Derivados. La Habana.. Memorias, 14-16 de octubre 2013.
 9. INCA. Evaluación de diferentes formulaciones de Fitomas-E en cultivos hortícolas de importancia económica. 2013-2014. Mayabeque. Julio 2014.
 10. INICA. Pruebas con diferentes tipos de FitoMas-E. Zafra 2013-2014. Febrero 2014.
-

CERALBE

Centro de Referencia de Alkoholes y Bebidas

Servicios analíticos

Asesoría tecnológica

Capacitación y entrenamiento

Actividad científico-técnica

LABEB,
Laboratorio Acreditado por
NC-ISO/IEC 17025:06



Potential of microalgae and cyanobacteria in bioremediation of distillery wastewaters

Isis Amores-Sanchez¹, María del Carmen Terrón-Orellana², Aldo E. González-Becerra³,
Tania González-Díaz de Villegas¹

1. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), Vía Blanca 805 y Carretera Central. CP: 11000, Habana, Cuba.
isis.amores@icidca.azcuba.cu
2. Centro Nacional de Microbiología, Instituto de Salud Carlos III Ctra. Majadahonda a Pozuelo Km 2 E-28220 Majadahonda Madrid, Spain.
3. Centro de Biología Molecular Severo Ochoa, CSIC-UAM, Nicolás Cabrera, 1. E-28049 - Madrid, Spain.

ABSTRACT

Distillery slops derived from the commercial production of ethanol, also referred to as slops, are highly environmental aggressive industrial effluents. Most studies regarding biotreatment of slops are focused on the use of fungi and bacteria, but their efficient decontamination is still an unsolved problem. More recently, microalgae and cyanobacteria have emerged as promising detoxification microorganisms. Degradation of diverse hazardous contaminants, synthesis of high-value secondary metabolites, use of sunlight as energy source, production of photosynthetic oxygen that reduces the need for external aeration, are advantages that render these microorganisms as attractive "pollutant-removers". This review analyzes their potential to treat a number of aromatic pollutants and structurally-related compounds, focused on recent advances in research dealing with the treatment of distillery wastewaters. The capacity to metabolize phenolics such as lignin or tannins and their ability to degrade melanoidins, the main colored compounds of slops, is also considered. Some enzymatic aspects of phenol and melanoidin biodegradation are described as well.

KEYWORDS: Slops, Wastewaters, Melanoidins, Microalgae, Cyanobacteria.

RESUMEN

Los efluentes de destilerías, también llamados vinazas, son unos de los residuales más agresivos para el medio ambiente. Muchos estudios han focalizado los biotratamientos al uso de hongos y bacterias, pero la descontaminación eficiente de dicho efluente es todavía un problema sin resolver. En los últimos tiempos microalgas y cianobacterias han surgido como una alternativa muy promisorio a la destoxificación. Estos microorganismo ofrecen una serie de ventajas como son: la degradación de gran cantidad de contaminantes, síntesis de metabolitos con alto valor agregado, utilización de una fuente de energía abundante y barata (Luz solar), utilización de su biomasa para la producción de una gran variedad de compuestos con aplicaciones en la industria química y farmacéutica entre otras. En esta revisión abordamos el potencial de estos microorganismos para tratar sustancias contaminantes estructuralmente relacionadas con las vinazas, su capacidad para metabolizar compuestos fenolicos como lignina y taninos así como la degradación de las melanoidinas, compuesto recalcitrante presente en las vinazas y responsable de su color oscuro.

PALABRAS CLAVE: biorremediación, vinazas de destilerías, melanoidinas, microalgas, cianobacterias, nizational performance.

INTRODUCTION

Microalgae (also referred to as microphytes) constitute a heterogeneous group of photosynthetic and/or heterotrophic unicellular microorganisms, integrated by thousands of species containing chlorophylls and other photosynthetic pigments [1]. They comprise a vast group of unicellular eukaryote organisms (green, red and brown unicellular algae). Prokaryote cyanobacteria were considered as microalgae and known as blue green algae for a long time, based on their condition of photosynthetic unicellular organisms [2]. In fact, at present some authors still includes cyanobacteria in researches dealing with microalgae. Nevertheless, cyanobacteria are bacteria, and remarkable differences supporting their classification into so distant taxonomic groups must not be missed out [3].

The size of microalgae and cyanobacteria ranges from tiny single individual cells to larger colony forming organisms and extended filaments. They are present in almost all aquatic ecosystems and play a central role in the fixation and turnover of carbon and other nutrient elements. Numerous studies have demonstrated the suitability of using their biomass as a feed supplement, and either as bio-fertilizer or soil conditioner [4]. They also possess the capacity to decontaminate different wastewaters as well as to produce valuable metabolites with diverse biotechnological applications such as food additives, cosmetics, animal feed additives, polysaccharides, polyunsaturated fatty acids, pigments, vitamins, antibiotics and other bioactive substances [5-7]. New microalgae/cyanobacteria-based processes have also been designed for the biotransformation of environmental pollutants [8]. These microorganisms can also be used for energy production, as certain species are effective in producing hydrogen and oxygen through the process of biophotolysis, while others naturally synthesize hydrocarbons which are suitable for direct use as high-energy liquid biofuels [9-11]. Increasing number of new entrepreneurs have realized about the broad potential of algae for biotechnological applications. Consequently, algal biotechnology has become into an important global industry with very wide fields of action [6, 12].

Reviews regarding different aspects of immobilization of microalgae and cyanobacteria for the treatment of hazardous contaminants have recently been published [1, 13, 14]. Wastewater treatment is an area of fundamental importance in environmental research, due to the ongoing global pollution problems caused by various wastewater streams. It is clear that an increased know-

wledge concerning waste-degrading organisms could assist in the development of new technologies to facilitate better strategies for the treatment of contaminated water courses.

The composition of industrial effluents is very variable, with the presence of various recalcitrant compounds making some wastewater streams more difficult to treat. Such is the case for melanoidins, which are complex biopolymers largely recalcitrant to microbial decomposition. They are discharged in huge quantities by cane molasses based distilleries and fermentation industries [15]. This industrial sector could be potentially problematic with respect to environmental pollution, and thus treatment of their effluents (termed as slops, spentwash, stillage or slop) is of serious environmental concern.

This review analyzes the potential of microalgae and cyanobacteria for the treatment and decontamination of distillery wastewaters. The capacity to degrade aromatic pollutants, as compounds structurally related with lignin, which can share some enzymatic similarities with melanoidins degradation, is also addressed.

Microalgae and cyanobacteria in the treatment of wastewaters

The biotreatment of wastewaters is based on the capacity of naturally occurring microorganisms to degrade pollutants present in the aquatic environment. Most studies on biodegradation to date have focused on bacteria or fungal mediated processes.

The idea of using microalgae and/or cyanobacteria in decontamination processes, such as in the treatment of domestic wastewater was initially proposed in the late 1950's [16]. Since then there have been a number of reports of their use in bioremoval strategies. Table 1 summarizes the main reports to date on xenobiotic and industrial wastewaters treatment with these microorganisms. Their use in such applications have the main advantage of being able to generate microbial biomass from a cheapest and most abundant energy source (sunlight). Another benefit is that additional pollution is not generated when the biomass is harvested and efficient recycling of nutrients is possible [17].

Photosynthetic oxygen-evolving cyanobacteria are ideal for the treatment of some effluents containing xenobiotics, since unlike heterotrophic organisms; they can undertake biodegradation simultaneously with oxygenation [18]. Some marine cyanobacteria have been successfully used in the treatment of solid-wastes and wastewaters containing pesticides [19], phenols [20, 21], aromatic hydrocarbons [2], textile dyes [22] and

Table 1. Degradation of xenobiotics and industrial wastewaters by microalgae

Substrate	Organism	Observations	Ref .
Acetonitrile	<i>Chlorella sorokiniana</i> /bacterial consortium	Removal of 2300 mg l ⁻¹ d ⁻¹ in 600 ml stirred tank reactor	[70]
Azo – anilina dyes	<i>Oscillatoria</i> sp., <i>Chlorella</i> sp	Used as carbon and energy source. Complete mineralization in prolonged treatments	[14]
Azo- cyclic dyes	<i>Phormidium ceylanicum</i> , <i>Gloeocapsa pleurocapsoides</i> , <i>Gloeotheca</i> sp., <i>Oscillatoria splendida</i> , <i>Chroococcus minutus</i> and other 9 species isolated from different wastewaters	The decolorization has an inverse relation with molecular weight, structure and the presence of inhibitory functional groups such as -NO ₂ and -SO ₃ Na	[17]
Black oil	<i>Chlorella</i> , <i>Scenedesmus</i> , <i>Rhodococcus</i> , <i>Phormidium</i>	Removal of 5.5 mg l ⁻¹ d ⁻¹ in 100 l tank	[71]
Chlorophenols, bromophenols, iodophenols	<i>Scenedesmus obliquus</i>	Toxic for microalgae. Degradation requires exogenous carbon and energy sources as organic carbon (glucose), inorganic carbon (CO ₂) or both.	[10]
Coir	<i>Phormidium</i> sp., <i>Oscillatoria</i> sp., <i>Anabena azollae</i> sps.	Making of biofertilizer from coir waste treatment	[39]
Distillery slops	Thirteen marine cyanobacteria strains from <i>Oscillatoria</i> , <i>Phormidium</i> , <i>Spirulina</i> , <i>Synechococcus</i>	54 % decolorization at 5% (v/v) final concentration of anaerobically treated spent wash after 30 days of treatment with <i>Oscillatoria boryana</i> BDV 92181 in open field conditions without any nutrient amendment	[68]
	<i>Oscillatoria</i> sp., <i>Lyngbya</i> sp., <i>Synechocystis</i> sp.	Color reduction of 96 %, 81 % and 26 %, respectively through bioflocculation. The consortium of the three strains showed a maximum decolorization of 98 %	[58]
	<i>Chlorella vulgaris</i>	Laboratory-scale microalgae pond for treatment of distillery wastewaters previously treated in an anaerobic fixed bed reactor permitted COD and BOD removals of 83,2 % and 88,0 %, respectively	[42]
	<i>Spirulina maxima</i>		[45]
	<i>Chlorella vulgaris</i>		[29]
DL-phenylalanine	22 species of unicellular marine microalgae	Variation in CO ₂ production and mineralization depending on light and dark conditions	[72]
Heavy methals	<i>Microalgae</i>	General review of theme. Mechanisms of accumulation and precipitation	[50]
Lignin	<i>Anabaena azollae</i>	Oxidative degradation	[60]
Monophenols from olive-oil mill wasteawaters: tyrosol, hydroxytyrosol, catechol, sinapic acid ferulic acid p-coumaric acid, vanillic acid	<i>Phenol resistant strains of Scenedesmus quadricauda</i> and <i>Ankistrodesmus braunii</i>	Removal of phenols at 400 mg ml ⁻¹ than 70 % within 5 days	[38]

Table 1. (cont.) Degradation of xenobiotics and industrial wastewaters by microalgae

Substrate	Organism	Observations	Ref.
Naphthalene	<i>Agmenellum quadruplicatum</i> , <i>Oscillatoria</i> sp., other cyanobacteria and microalgae	Bioaccumulation , no metabolic degradation	[48-55]
Olive-oil mill wastewater	Phenol resistant strains of <i>Scenedesmus quadricauda</i> and <i>Ankistrodesmus braunii</i>	Low degradation of tannins and lignin	[4]
Petroleum hydrocarbons and HPA	Microalgae: <i>Prototeca zoptyi</i> , <i>Selenastrum capricornutum</i> , <i>Scenedesmus acutus</i> , <i>Ankistrodesmus braunii</i> , <i>Chlamydomonas ulvaensis</i> , <i>Chlorella pyrenoidosa</i> , <i>Scenedesmus brasiliensis</i> . Cyanobacteria: <i>Anabaena cylindrical</i> , <i>Phormidium foveolarum</i> , <i>Oscillatoria</i> , <i>Agmenellum quadruplicatum</i>	Efficient degradation	[73]
Phenanthrene	<i>Chlorella surokiniana</i> / <i>Pseudomonas migulae</i>	Removal of 192.5 mg l ⁻¹ d ⁻¹ In 2 l STR with silicone oil at 10 %	[19]
Phenol	<i>Phormidium valderianum</i>	Grow at phenol concentration of 50 mg l ⁻¹ and removal of 38 mg l ⁻¹ within a retention period of 7 days. Intracellular polyphenol oxidase and laccase enzyme induction	[7]
Phenolic fraction (< 300 Da) obtained from olive-oil mill wastewater: tyrosol, hydroxytyrosol, catechol, 4-OH-benzoate, sinapic acid, ferulic acid, caffeic acid, p-coumaric acid, vanillic acid	Phenol resistant strains of <i>Scenedesmus quadricauda</i> and <i>Ankistrodesmus braunii</i>	High removal of monophenols (over 50 %) in dark with non-immobilized cells. Biotransformation into non-identified aromatic compounds	[4]
Phenol and homologous methylated	<i>Ochromonas danica</i> and five sweet water algae species	Mineralization at low concentrations. No toxic for algae growth	[15]
	<i>Ochromonas danica</i>	Enzymology of the degradation	[8]
Phloroglucinol	Marine microalgae	Mineralization and CO ₂ production	[64]
Pulp and paper industry wastewater	Mixed culture of green algae (<i>Chlorella</i> , <i>Chlorococcum</i> <i>Chlamydomonas</i> , <i>Pandorina</i> , <i>Eudorina</i>), diatoms, flagellates and cyanobacteria (<i>Microcystis</i> , <i>Anabaena</i>).	Removal of 50-60 % COD 80-85 % color and 50-80 % absorbable xenobiotic after 20-30 days of treatment in batch reactors	[54]
Pure melanoidins	<i>Oscillatoria boryana</i> BDV 92181	Decolorization of pure pigment (0.1 % w/v) by about 75 %. Use of melanoidin as nitrogen and carbon source. No growth at melanoidin concentration above 0.5 %.	[68]

detergents [23]; primarily due to their capacity to metabolize these compounds as nitrogen, phosphorus, carbon and sulfur sources. They have also been used to reduce the content of nitrogen, ammonia and phosphorous in sewage and various agricultural wastes [12].

Microalgae *Scenedesmus* and *Chlorella*, and cyanobacteria *Phormidium* and *Oscillatoria* are the most frequently used genera in wastewater treatment systems mediated by microalgae and/or cyanobacteria. The use of these microorganisms lead to a progressive reduction of chemical oxygen demand (COD) and biological oxygen demand (BOD), to values below the disposal limits. Microalgae have also been successfully employed in the reduction of heavy metal content in industrial wastewaters, both in batch or in continuous systems [4].

Many physiological, morphological, biochemical and molecular characteristics of microalgae and cyanobacteria are quite different from other microbial systems, meeting at the same time, several requirements which other systems cannot achieve. As a result, they are gaining an increased prominence in the field of environmental microbiology. Particular emphasis is being placed on the selection of appropriate strains and in their cultivation and subsequent processing for specific bioremoval/bioremediation applications. In addition, the improve of biomass content and/or the employment of immobilization techniques, together with the use of metabolically active microorganisms will be required to optimize the scale-up of these new bio-treatment processes. The bio-refinery strategy using microalgae and cyanobacteria for treating wastewater to simultaneously produce biofuels and high value added products has been reviewed by Olguín [11].

The environmental impact of distillery slops

Distillery slops are effluents derived from the commercial production of ethanol and as previously stated constitute a serious environmental problem. It is estimated that in a standard distillery approximately 0.2 million liters of slops are daily generated, 10-15 fold higher than the amount of ethanol produced [24]. This effluent has a very high organic matter content (COD values between 100.000 to 150.000 mg L⁻¹ and BOD between 35.000 to 55.000 mg L⁻¹), which can potentially lead to extensive eutrophication of contaminated water courses [25].

Distillery effluents are water pollutants not only as a result of their organic load, but also due to their dark brown color [26]. This color blocks out sunlight in rivers and other streams, and it is detrimental to aquatic life, as it affects photos-

ynthesis by a reduction in the degree of sunlight penetration into these water courses. It also causes a reduction in soil alkalinity and an inhibition of seed germination. Furthermore, the melanoidins contained within the colored material, could potentially influence the biochemical cycles of many constituents in natural water systems; due to the possibility of the formation of metal ions and melanoidin complexes [27].

Some anaerobic and aerobic treatment processes permit decreases in both COD and BOD values, but color levels remain largely unchanged following the use of conventional processes due to the recalcitrant nature of the color components and can even be increased during anaerobic treatments, due to re-polymerization reactions [28]. Physical-chemical treatments also have some disadvantages such as high cost, consumption of chemicals, large volume of solid waste, the possible formation of harmful by-products and fluctuations in decolorization efficiencies [29]. In this regard, microalgae and cyanobacteria offer an attractive alternative, based on the high versatility of their metabolic mechanisms which can be used for bioremediation purposes. They are considered ideal for the treatment of distillery effluent since apart from degrading the colored compounds they also oxygenate the water bodies, thus reducing the BOD and COD levels.

Mass cultivation of cyanobacteria is less expensive as well as, more straightforward when compared to fungi and bacteria, and as has been said have the added advantage of oxygenating the environment [27, 30].

The color of slops is caused by the presence of melanoidins, together with phenolics from the feedstock (such as tannic, gallic and humic acids), caramels from overheated sugars and furfurals from acid hydrolysis [31]. Melanoidins represent nearly 2 % of slops [24], and are polymers which are formed by Maillard reactions, and which have complex chemical structures which are as yet not fully understood [32]. Although certain bacteria and fungi are known to be able to degrade melanoidins, they are in general quite recalcitrant to biodegradation. On the other hand, heterotrophic organisms are not particularly suited for use in the treatment of slops since they tend to deplete the available dissolved oxygen, within the system. The feasibility of combining microalgae and macrophytes for the bioremediation of recalcitrant industrial wastewater has been demonstrated in the treatment of the effluent from ethanol production using the microalgae *Chlorella vulgaris* and the macrophyte *Lemna minuscula* [33]. As other alternative for waste management, a laboratory-scale microalgae pond inoculated as well

with *Chlorella vulgaris* has been successfully used for secondary treatment of distillery wastewaters previously treated in an anaerobic filter [34]. In a similar way, Marques and co-workers [35] demonstrated the potential of the anaerobic treated slops as an alternative source of nutrient for culturing microalgae with the goal of supplying the biodiesel industrial chain with algal biomass and oil.

On the other hand, it has recently been reported that oxygen-evolving cyanobacteria can successfully be employed in the decolorization of slops [36]. The ability of these photoautotrophs to detoxify these wastewaters is based on their capacity to degrade diverse phenolic compounds as well as melanoidin pigments. A great effort has been invested to transform slops into valuable products. The use of slops from beet molasses to produce biomass of the *Spirulina maxima* cyanobacterium has been described as a feasible alternative because slops may be added to culture media and nutrients may be recovered [37].

Degradation of phenolic compounds

Phenolic compounds are present in industrial effluents at concentrations ranging from 6 to 2000 mg L⁻¹, being their concentration in slops approximately 50 mg L⁻¹. The admissible limit in the receiving water bodies is only 3 mg L⁻¹ [38]. The toxicity of these compounds even at low levels, and their recalcitrance to degradation, categorizes them as a serious threat to the environment. The application of biological processes to treat phenol containing wastes is frequently unsatisfactory since phenolics are highly toxic to anaerobic and aerobic microorganisms [10].

Research on phenol biodegradation is mainly concentrated on the use of bacteria and fungi, although the use of microalgae in bioremediation of phenolic compounds was proposed more than sixty years ago [39]. However, some work has been focused on the potential of microalgae and cyanobacteria for the biological treatment of these compounds [21, 41, 40]. For example, studies have been undertaken to estimate the tolerance/sensitivity of microalgae to phenolics, with quite different results. In many cases phenol displays no toxic effects on algal cultures when added at low concentrations and can be used as an alternative carbon source. As a result of this, many species have in fact been employed in secondary and tertiary treatment systems for phenol bioremediation. For instance, the marine cyanobacterium *Phormidium valderianum* is able to tolerate and grow at a phenol concentration of 50 mg L⁻¹ and remove 38 mg L⁻¹ within a retention period of 7 days [38]. On the other hand, other cyanobacteria are sensitive to phenolics, with toxicity

being related to the number and polarity of the substituents in the aromatic ring [42].

Two green microalgae: *Ankistrodesmus braunii* and *Scenedesmus quadricauda*, have been reported to remove phenols from olive-oil mill wastewaters (OMW) [20]. Removal of phenols tested at 400 mg mL⁻¹ within a 5 day period, was greater than 70 %. These levels of removal were comparable with those obtained with fungi and bacteria, suggesting that phenolics compounds could be metabolized by green algal cells. However, the treatment of OMW using these two phenol-resistant strains in batch reactors, showed a limited reduction in phenol content following 5 days of treatment. Degradation of monophenols, which are mainly responsible for the toxicity of this type of effluent, was only 50 % [21].

The biodegradation of other phenolic compounds such as lignin and tannins is also of interest due to their high structural complexity and naturally high abundance. These substances are structurally similar to melanoidins, which are present in slops, as well as in many other waste streams [43-45]. Lignin is a three-dimensional and amorphous aromatic hetero-polymer which is located in the middle lamella of plant cell wall, and also supplies structural support to wood in trees. Tannins are water-soluble phenolic polymers that precipitate with proteins. Their structure is very similar to that of lignin. Both, lignin and tannins are very stable and toxic to many species of microorganisms. Anaerobic catabolism reactions are not efficient enough to cleave the aromatic rings of both types of polymers, while aerobic metabolism can result in degradation, but the rates are low and may take many days to complete the process [46, 47]. There are few reports on the biodegradation of lignin and tannin by microalgae or cyanobacteria. Bharati and co-workers [48] reported for the first time the capacity of two species of cyanobacteria (*Phormidium ambiguum* and *Chroococcus minutus*) to remove lignin from waste, with lignin levels decreasing by 73.2 % following 5 days of treatment with these species. In this study the secretion of extracellular enzymes like phenol oxidases (both peroxidases and laccase) by the growing microalgae biomass was also suggested for the first time. Other cyanobacteria genus such as *Oscillatoria sp.* and *Anabaena sp.*, have shown similar results, achieving 89 % of lignin degradation [49].

The biodegradation of phenolic compounds by microalgae is an energy-consuming process. It is very dependent on the growth conditions, with the requirement of carbon and light exogenously supplied as energy sources [50, 51]. Paradoxically, in the presence of high light intensities, the levels of degradation of some phenolic compounds are low,

which is believed to be due to an increased toxicity resulting from autoxidation processes enhanced by light [52]. This is a very important aspect to consider, given that microalgae and cyanobacteria are photosynthetic organisms. Nevertheless, numerous species are mixotrophs: they have both photoautotrophic and heterotrophic metabolism. Microalgae, that are sensitive to phenolic pollutants when the cultures are grown under phototrophic or heterotrophic conditions, appear to have an improved ability to mineralize phenolic compounds when grown under mixotrophic growth conditions [53]. This characteristic allows these organisms to survive under conditions of low light or carbon dioxide shortage and represents an alternative to other biological treatments used for the biodegradation of phenol-containing wastewaters [20].

Even though both aerobic and anaerobic activated sludge based processes are known to facilitate the microbial mediated degradation of phenol, aerobic processes are preferred [54]. In the case of some microalgae, the presence of molecular oxygen is indispensable to initiate the enzymatic attack on the aromatic ring and biodegradation of phenols only occurs under aerobic conditions [55]. A typical pathway for metabolizing phenol is to hydroxylate the ring to form catechol that can be degraded through *ortho*- or *meta*-oxidation [41]. The reaction will be further explained in "Enzymatic aspects of the degradation processes by microalgae and cyanobacteria" and illustrated in the Figure 1.

The first record for an *ortho*-fission of a phenolic substance by cyanobacteria was reported previously [56]. Investigations of the marine cyanobacterium *Synechococcus* PCC 7002 revealed its ability to metabolize phenol under non-pho-

tosynthetic conditions up to 100 mg L⁻¹. During the degradation of this compound in the dark *cis,cis*-muconic acid was produced as the major product.

A predictive model developed to describe the aerobic degradation of phenolic compounds by microalgae, under photoautotrophic, heterotrophic or mixotrophic conditions [57] confirmed several important aspects related with this process. The mathematical model demonstrated that degradation of phenolic compounds is enhanced by increasing the light intensity in a wide range of light intensities; which is mainly attributable to increases in photosynthetic oxygen production. Both biodegradation rate and microalgae growth can be enhanced under increased light intensities, by addition of inorganic carbon sources such as CO₂ and sodium bicarbonate (NaHCO₃). The models showed low concentrations of oxygen during the middle phase of the process of biodegradation followed by a rapid increase of oxygen after consumption of the phenolic compounds. This indicates that a lack of oxygen may be a limiting factor in the biodegradation of phenols. In contrast, while the use of a carbon source such as glucose increases the specific growth rate, it decreases the specific biodegradation rate of the phenolic compound. The inhibition may be due to the competition for oxygen between glucose utilization and phenol assimilation.

In short, phenolic degradation mediated by microalgae and cyanobacteria is a dynamic process which is controlled by several parameters. It requires the analysis of the molecular structure of each phenolic compound, its influence on growth, as well as the involvement of the photosynthetic machinery to gain a fuller understanding at both a cellular and culture level.

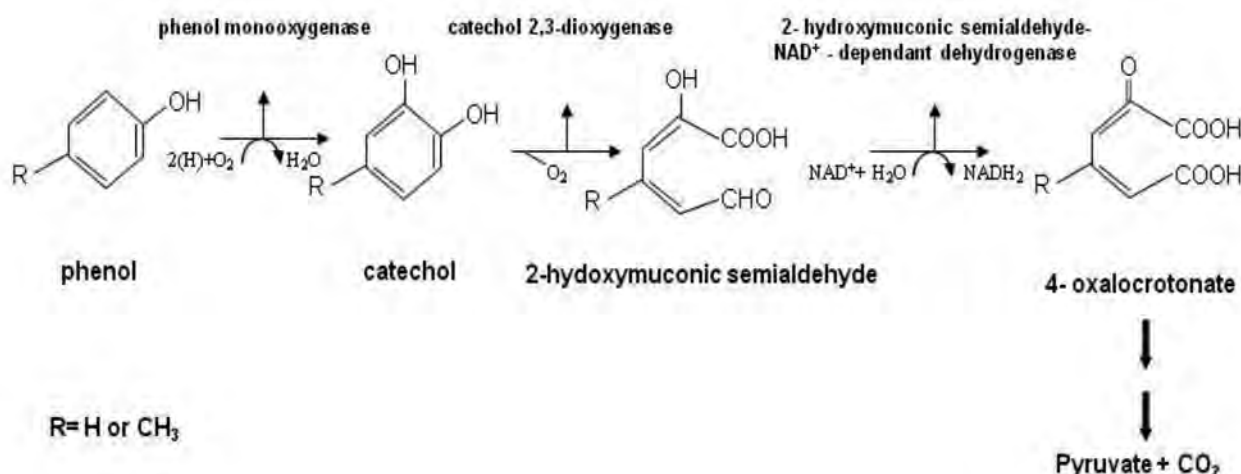


Figure 1. Phenol biodegradation by the meta-cleavage pathway described in the microalgae *Ochromonas danica* from [55].

Melanoidin degradation

Melanoidin degradation by microalgae and cyanobacteria began to be studied in the present millennium. Cyanobacteria degrade the polymers and oxygenate water bodies. This makes them ideal for reduction of the BOD and COD levels in the treatment of distillery effluents [28]. Some authors [24] screened 13 marine cyanobacteria strains belonging to the genera *Oscillatoria*, *Phormidium*, *Spirulina* and *Synechococcus* for their capacity to degrade/decolorize 1:1 (v/v) diluted anaerobically treated spent-wash, without any nutrient amendment under open field conditions. Degrading efficiency was highest for *Oscillatoria* and decreased for the other three genera in the aforementioned order, with *Synechococcus* being least effective. The study also demonstrated the ability of the strain *Oscillatoria boryana* BDV 92181 to use melanoidins as nitrogen and carbon source, leading to decolorization. This organism decolorized pure melanoidin pigment (0,1 % w/v) by about 75 % and crude pigment in the distillery effluent (5 % v/v) by about 60 % in 30 days. However, a decreased in decolorization was observed at melanoidin concentrations of above 0,5 %, which inhibited growth of this cyanobacterium by blocking the penetration of light, due to the dark color of the medium.

Decolorization of distillery effluent by *Oscillatoria* sp., *Lyngbya* sp. and *Synechocystis* sp. has also been reported [58]. The use of these cyanobacteria showed a color reduction of 96 %, 81 % and 26 %, respectively through bioflocculation. A consortium containing all the three strains achieved a maximum decolorization of 98 %. This was attributed to absorption processes in the initial stages followed by degradation of organic compounds in the subsequent stages.

Laboratory-scale experiments have been performed to develop a sequential treatment process for a recalcitrant wastewater composed of two different effluents; namely the untreated washing water from all the processes in the sugar mill and the slops wastewater from an ethanol distillery [33]. The second effluent inhibited the growth of the microalgae *Chlorella vulgaris* due to its high COD and dark color. In a combined process using *Chlorella* over a 4 day period, followed by treatment with the macrophyte *Lemna minuscule* for 6 additional days, the color was reduced by up to 52 %. Macrophyte treatment without microalgae pretreatment reduced the original color by only up to 10 %; which indicates that microalgae perform the most important role in decolorization. Microalgae also permitted the removal of nutrients and organic matter from the waste stream,

and produced oxygen for the other organisms; while macrophyte growth was beneficial as a final wastewater treatment because it permitted precipitation of the microalgae population and the subsequent reuse of the treated wastewater.

More recently, some authors [34] have described the performance of a laboratory-scale microalgae pond for the secondary treatment of distillery wastewaters previously treated in an anaerobic fixed bed reactor. The use of a *Chlorella vulgaris* strain highly adaptable to load changes and resistant to colored media permitted 83,2 % COD and 88,0 % BOD removals respectively. Although color reduction was not analyzed in this study, the authors stated that effluent obtained from the pond at the operating conditions was acceptable for final disposal or irrigation.

Enzymatic aspects of the degradation processes by microalgae and cyanobacteria

Even though the potential of microalgae and cyanobacteria to degrade pollutants such as phenols, polyphenolic aromatic compounds, synthetic dyes and recalcitrant biopolymers such as melanoidin has been well established, knowledge about the enzymatic reactions involved in these processes is still quite scarce.

The enzymology of phenol degradation and its methylated homologues in the microalga *Ochromonas danica* revealed the involvement of enzymes of the *meta*-cleavage pathway commonly found in bacteria [55]. In this pathway, phenol monooxygenase use molecular oxygen to add a second hydroxyl group in the *ortho*-position, in a reaction requiring reduced pyridine nucleotide (NADH₂). The resulting catechol molecule is degraded by the enzyme catechol 2, 3 dioxygenase. In this case the ring fission occurs adjacent to the two hydroxyl groups of the catechol molecule. The compounds obtained are metabolized further to intermediates of the Krebs cycle (Fig. 1) [59]. The presence of a ring hydroxylating dioxygenase system has also been described in the chlorophyte microalga *Selenastrum capricornutum* [60].

A number of different studies have revealed the presence of polyphenol oxidases (PPOs) and laccase (LACs) in several species of microalgae and cyanobacteria; however research in this area is still in its infancy. In cultures of the cyanobacterium *Phormidium valderianum* containing phenols at a concentration of 50 mgL⁻¹, polyphenol oxidase and laccase activity was five-fold and two-fold higher, respectively than in the presence of 25 mgL⁻¹ phenol [38]. An increase in protein concentration in the medium was also reported, which was attributed to the *nov*o synthesis of

phenol-degrading enzymes. LACs have been described as key enzymes in slops decolorization by basidiomycetous fungi. Furthermore, a selective induction of laccase gene expression by melanoidins isolated from these effluents has been demonstrated in the white-rot fungus *Trametes* sp. I-62 [61].

A recent study demonstrated the constitutive expression of LACs and PPOs in the decolorization of the lignin model polymeric dye Poly R-478 in ten different species from the *Oscillatoria* and *Phormidium* genera [62]. The use of these model substrates could be a useful tool in the identification and screening of cyanobacteria with bioremediation potential. *Phormidium valderianum* was the specie which produced the most efficient decolorization values (65 %). LACs production was induced by known fungal laccase elicitors such as veratryl aldehyde, caffeic acid, guaiacol and tannic acid. In another recent report focused on the decolorization capacity of a strain of *Oscillatoria willei* grown under nitrogen limitation, Poly R-478 was added resulting in enhanced oxidative stress [63]. A concomitant increase in ligninolytic and oxidative enzymes such as lignin peroxidase, LACs, PPOs, superoxide dismutase, catalase, peroxidase and ascorbate peroxidase was detected. Under these conditions *Oscillatoria willei* decolorized 52 % of the substrate following 7 days of growth.

Other enzymes implicated in the degradation of melanoidins by microalgae have also been studied. For example, the assimilation of ammonia from the amino acid component of the pigment is carried out by the glutamine synthetase enzyme,

which is an efficient ammonia scavenger in cyanobacteria [64]. Higher glutamine synthetase activity has been observed in cyanobacteria growing in media containing both pigment and effluent [24]. The involvement of the ammonia assimilating enzyme glutamate dehydrogenase, followed by the glutamine synthetase activity has been also suggested.

While oxygen is essential for the existence of aerobic life, it is well established that toxic reactive oxygen species (ROS), which include the superoxide anion (O_2^-), hydroxyl radical ($OH^\cdot$), and hydrogen peroxide (H_2O_2), are generated in all photosynthetic organisms through photosynthetic electron transport and respiratory electron transport [65]. H_2O_2 for example, which is produced by cyanobacteria during the photosynthetic process, could also be fundamentally involved in melanoidin degradation. Evidence for this comes from the fact that the in vitro addition of H_2O_2 to melanoidin containing effluent has shown a color reduction of 97 % [66]. Interestingly members of the genus *Oscillatoria* are known to be able to produce this strong oxidizing agent at the rate of $0,538 \mu\text{moles } \mu\text{g chlorophyll-Lh}^{-1}$ [24]. In addition, it is believed that the generation of hydroxyl ions may also be a mechanism to degrade melanoidin pigment into utilizable forms of nitrogen and carbon for cyanobacteria. In any case the decolorization and degradation of synthetic melanoidin is known to be influenced by the pH of the reaction mixture in the alkaline range due to hydroxyl ions [67]. These are generated by cyanobacteria with the

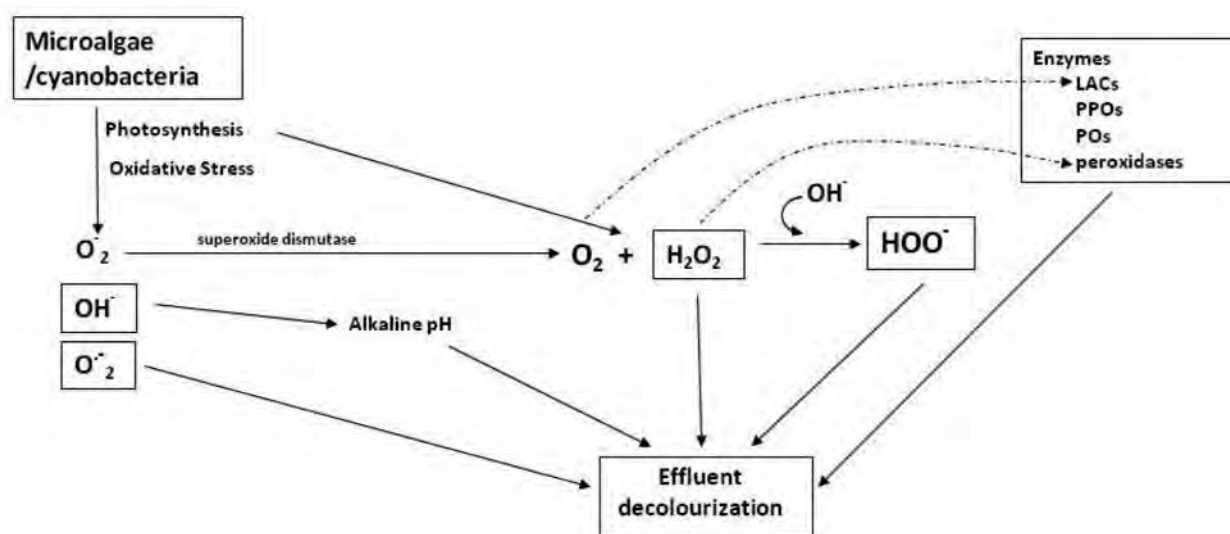


Figure 2. Metabolic mechanisms that could be involved in the degradation of distillery effluents by in microalgae and cyanobacteria (adapted from [24] and LACS: laccases; PPOS: polyphenoloxydases; POS: phenoloxydases).

involvement of the superoxide dismutase enzyme, which results in a shift of pH to alkaline values [68].

Superoxide dismutase is present in aerobic organisms and catalyzes the dismutation of the superoxide anion radical by converting it to molecular oxygen and H_2O_2 thereby protecting the organism from its toxic effects (Fig. 2). The superoxide radical is highly reactive, toxic and commonly appears in LACs producing organisms, during the redox cycling of quinone. Therefore, this enzyme not only protects the cell, but also may facilitate the action of peroxidase enzymes through the production of the enzyme's main cofactor H_2O_2 [69]. Furthermore, any hydrogen peroxide generated during photosynthesis can react with the hydroxyl anion to give mainly perhydroxyl anion (HOO^-) which has a strong nucleophilic activity and can also contribute to pigment decolorization. Finally, the fact that degradation of the melanoidin pigment only occurs under light conditions and not in the darkness, suggests a possible involvement of active oxygen, released during the photolysis of water by the cyanobacterium [24].

The Fig. 2 gives a general overview of the metabolic mechanisms that could be involved in the degradation of distillery effluents by microalgae and cyanobacteria. A detailed study focusing on the expression of enzyme complexes in different species, as well as their response to different components and physiological parameters of the medium is required. This will permit to gain a fuller understanding of their role in the assimilation of different toxic compounds; thereby facilitating the selection of appropriate strains to be employed in the biological treatment of colored effluents such as distillery slops.

CONCLUSIONS

Bioremediation mediated by microalgae and cyanobacteria is a viable new alternative for the detoxification of distillery-wastewaters, primarily due to the fact that they possess the advantage of a trophic independence for nitrogen and carbon. However, these are generally light dependent reactions that will necessitate a dilution of the colored effluents to be treated, in order to avoid light-blockade. Another requirement is that the effluent flow of the distillery-wastewaters must be very low. Further studies are necessary to analyze the degradation of the colored compounds within slops under different light intensities, physiological and environmental conditions. In addition additional work needs to be performed to study the metabolism and co-metabolism of diverse slops components, as well as biomass production and the kinetic parameters of biodegradation. Finally, studies focusing on the costs of industrial scale-up and the possibility of high value by-product production should also be undertaken.

ACKNOWLEDGEMENTS

We wish to thank Prof. Dr. Alan Dobson (Cork University College) for the critical reading of the manuscript and for revising the English language.

The authors are thankful to The International Foundation for Science (IFS) for providing financial support to this research.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare that they have no conflict of interest.

REFERENCES

1. de-Bashan, L.E.; Bashan, Y. Immobilized microalgae for removing pollutants: review of practical aspects. *Biores Technol.* 101: pp.1611-1627, 2010.
2. Ibraheem, I.B.M. Biodegradability of hydrocarbons by cyanobacteria. *J Phycol* 46: pp. 818-824, 2010.
3. Whitton, B.A.; Potts, M. Introduction to the cyanobacteria. In: Whitton BA, Potts M. (Eds). *The ecology of cyanobacteria*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers p. 1-11, 2000.
4. Mc Hugh, D.J. A guide to the seaweed industry. *FAO Fisheries Technical Papers* 441: pp. 101-115, 2003.
5. Pulz, O.; Gross, W. Valuable products from biotechnology of microalgae. *Appl Microbiol Biotechnol.* 65: pp.635-648, 2004.
6. Sasso, S.; Pohnert, G.; Lohr, M.; Mittag, M.; Hertweck, C. Microalgae in the postgenomic era: a blooming reservoir for new natural products. *FEMS Microbiol Rev.* 36: pp.761-785, 2012.
7. Spolaore, P.; Joannis-Cassan, C.; Duran, E.; Isambert, A. Commercial applications of microalgae. *J Biosci Bioeng.* 101: pp. 87-96, 2006.

8. Olaizola, M. Commercial development of microalgal biotechnology: from the test tube to the marketplace. *Biomol Eng.* 20: pp.459-466, 2003.
9. Brennan, L.; Owende, P. Biofuels from microalgae-A review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 14: pp. 557-577, 2010.
10. Capasso, R.; Evident, A.; Schivo, L.; Orru, G.; Marcialis, M.A.; Cristinzio, R. Antibacterial polyphenols from olive oil mill wastewater. *J Appl Bacteriol.* 79: pp.393-398, 1995.
11. Olguín, E.J. Dual purpose microalgae-bacteria-based systems that treat wastewater and produce biodiesel and chemical products within a Biorefinery. *Biotechnol Adv.* 30: pp. 1031-1043, 2012.
12. Hallmann, A. Algal transgenics and biotechnology. *Transgenic Plant J.* 1: pp. 81-98. Global Science Books, 2007.
13. Moreno-Garrido, I. Microalgae immobilization: Current Techniques and uses. *Biores Technol.* 99: pp. 3949-3964, 2008.
14. Muñoz, R.; Guieysse, B. Algal-bacterial processes for the treatment of hazardous contaminants: A review. *Water Res.* 40: pp. 2799-2815, 2006.
15. Kumar, P.; Chandra, R. Decolorization and detoxification of synthetic molasses melanoidins by individual and mixed cultures of *Bacillus* spp. *Biores Technol.* 97: pp. 2096-2102, 2006.
16. Wong, Y.S.; Tam, N.F.Y. Wastewater treatment with algae. *Acta Biotechnol.* 19: pp. 340, 1999.
17. Pérez-García, O.; Escalante, F.M.E.; de-Bashan, L.E.; Bashan, Y. Heterotrophic cultures of microalgae: Metabolism and potential products. *Water Res.* 45: pp.11-36, 2011.
18. Aaronson, S.; Berner, T.; Dubinsky, Z. Algal biomass. In: Shelef G, Soeder C J. (Eds). *Production and use*, Elsevier/North Holland Biomedical Press. Amsterdam, pp. 575-601, 1980.
19. Kuritz, T. Cyanobacteria as agents for the control of pollution by pesticides and chlorinated organic compounds. *J Appl Microbiol. Symposium Supplement*, 85: pp.186-195, 1999.
20. Pinto, G.; Pollio, A.; Previtera, L.; Temussi, F. Biodegradation of phenols by microalgae. *Biotechnol Lett.* 24:2047-2051, 2002.
21. Pinto, G.; Pollio, A.; Previtera, L.; Stanzione, M.; Temussi, F. Removal of low molecular weight phenols from olive oil mill wastewater using microalgae. *Biotechnol Lett.* 25: pp.1657-1659, 2003.
22. Parikh, A.; Madamwar, D. Textile dye decolorization using cyanobacteria. *Biotechnol Lett.* 27: pp. 323-326, 2005.
23. Cain, R.B. Biodegradation of detergent. *Curr Opin Biotechnol.* 5: pp.266-274, 1994.
24. Kalavathi, D.F.; Uma, L.; Subramanian, G. Degradation and metabolization of the pigment melanoidin in distillery effluent by the marine cyanobacterium *Oscillatoria boryana* BDU 92181. *Enz Microb Technol.* 29: pp. 246-250, 2001.
25. FitzGibbon, F.J.; Singh, D.; Mc Mullan, G.; Marchant, R. The effect of phenolics acids and molasses spent wash concentration on distillery wastewater remediation by fungi. *Process Biochem.* 33: pp.799-803, 1998.
26. Pant, D.; Adholeya, A. Biological approaches for treatment of distillery wastewater: a review, *Biores Technol.* 98: pp.2321-2334, 2007.
27. Agarwal, R.; Lata, S.; Gupta, M.; Singh, P. Removal of melanoidin present in distillery effluent as a major colorant: A Review. *J Environ Biol.* 31: pp. 521-528, 2010.
28. Satyawali, Y.; Balakrishnan, M. Wastewater treatment in molasses-based distillery for COD and color removal: A review. *J Environ Management.* 86: pp.481-497, 2008.
29. Kanimozhi, R.; Vasudevan, N. An overview of wastewater treatment in distillery industry. *Int J Environ Eng.* 2: pp.159-184, 2010.
30. Mohana, S.; Acharya, B.K.; Madamwar, D. Distillery spent wash: Treatment technologies and potential applications. *J Hazard Mater.* 163: pp.12-25, 2009.
31. Kort, M.J. Color in the sugar industry. In: de Birch GG, Paker, KJ (Eds) *Sugar: Science and Technology*. Applied Science London, pp. 97-130, 1979.
32. Morales, F.J.; Jimenez-Perez, S. Free radical scavenging capacity of Maillard reaction products as related to color and fluorescence. *Food Chem.* 72: pp.119-125, 2001.
33. Valderrama, L.T.; Del campo, C.M.; Rodriguez, C.M.; de Bashan, L.E.; Bashan, Y. Treatment of recalcitrant wastewater from ethanol and citric acid production using the microalga *Chlorella vulgaris* and the macrophyte *Lemna minuscule*. *Water Res.* 36: pp. 4185-4192, 2002.
34. Travieso, L.; Benítez, F.; Sánchez, E.; Borja, R.; León, M.; Raposo, F.; Rincón, B. Performance of laboratory-scale microalgae pond for secondary treatment of distillery wastewater. *Chem Biochem Eng Q.* 22 (4): pp.467-473, 2008.
35. Marques, S.S.I.; Nascimento, I.A.; de Almeida, P.F.; Chinalia, F.A. Growth of *Chlorella vulgaris* on sugarcane slops: the effect of anaerobic digestion pretreatment. *Appl Biochem Biotechnol.* 171: pp. 1933-1943, 2013.

36. Chandra, R.; Singh, S.K.; Reddy, M.M.; Patel, D.K.; Purohit, H.J.; Kapley, A. Isolation and characterization of bacterial strains *Paenibacillus* sp. and *Bacillus* sp. for kraft lignin decolorization from pulp paper mill waste. *J Gen Appl Microbiol.* 54: pp.399-407, 2008.
37. Barrocal, V.M.; García-Cubero, M.T.; González-Benito, G.; Coca, M. Production of biomass by *Spirulina maxima* using sugar beet slops in growth media. *New Biotechnol.* 27: pp. 851-856, 2010.
38. Shashirekha, S.; Uma, L.; Subramanian, G. Phenol degradation by the marine cyanobacterium *Phormidium valderianum* BDU 30501. *J Ind Microbiol Biotechnol.* 19: pp. 130-133, 1997.
39. Oswald, W.J. My sixty years in applied algology. *J Appl Phycol.* 15: pp.99-106, 2003.
40. Ferrera, R.; Rojas, N.; Poggi, H.M.; Alarcón, A.; Cañizares, R.O. Procesos de biorremediación de suelo y agua contaminados por hidrocarburos del petróleo y otros compuestos orgánicos. *Rev Lat Microbiol.* 48: pp.179-187, 2006.
41. Metting Jr, F.B. Biodiversity and application of microalgae. *J Ind Microbiol.* 17: pp. 477-489, 1996.
42. Della Greca, M.; Monaco, P.; Pollio, A.; Previtera, L. Structure activity relationships of phenylpropanoids as growth inhibitors of the green alga *Selenastrum capricornutum*. *Phytochemistry.* 31: pp. 4119- 4123, 1992.
43. Murugan, K.; Al-Sohaibani, S.A. Biocompatible removal of Tannin and Associated color from Tannery effluent using the biomass and tannin Acylhydrolase (E.C.3.1.1.20) enzyme of mango industry solid waste isolate *Aspergillus candidus* MTTC 9628. *Res J Microbiol.* 5: pp.262-271, 2010.
44. Robinson, T.; Mc Mullan, G.; Marchant, R.; Nigan, P. Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. *Biores Technol.* 77: pp. 247-255, 2001.
45. Scalbert, A. Antimicrobial properties of tannins. *Phytochemistry.* 30: pp. 875-883, 1991.
46. Heider, J.; Fuchs, G. Anaerobic metabolism of aromatic compounds. *Eur J Biochem.* 243: pp. 577-596, 1996.
47. Kuhad, R.C.; Singh, A.; Eriksson, K.E.L. Microorganisms and enzymes involved in the degradation of plant fiber cell walls. *Adv Biochem Eng Biotechnol.* 57: pp. 45-125, 1997.
48. Bharati, S.G.; Salanki, A.S.; Taranath, T.C.; Acharyulu, M.V.R.N. Role of cyanobacteria in the removal of lignin from the paper mill waste waters. *Bull Environ Contam Toxicol.* 49: pp.738-742, 1992.
49. Anbuselvi, S.; Jeyanthi, R. A Comparative Study on the Biodegradation of Coir Waste by Three Different Species of Marine Cyanobacteria. *J Appl Sci Res.* 5: pp. 2369-2374, 2009.
50. Papazi, A.; Kotzabasis, K. Bioenergetic strategy of microalgae for the biodegradation of phenolic compounds- Exogenously supplied energy and carbon sources adjust the level of biodegradation. *J Biotechnol.* 129: pp.706-716, 2007.
51. Papazi, A.; Kotzabasis, K. Inductive and resonance effects of substituents adjust the microalgal biodegradation of toxical phenolic compounds. *J Biotechnol.* 135: pp.366-373, 2008.
52. Nakai, S.; Yutaca, I.; Masaaki, H. Algal growth inhibition effects and inducement modes by plant-production phenols. *Water Res* 35: pp. 1855-1859, 2001.
53. Tikoo, V.; Scragg, A.H.; Shales, S.W. Degradation of pentachlorophenol by microalgae. *J Chem Technol Biotechnol.* 68: pp. 425-431, 1997.
54. Contreras, E.M.; Albertario, M.E.; Bertola, N.C.; Zaritzky, N.E. Modelling phenol biodegradation by activated sludges evaluated through respirometric techniques. *J Hazard Mater.* 158: pp. 366-374, 2008.
55. Semple, K.T.; Cain, R.B. Biodegradation of phenolic by *Ochromonas danica*. *Appl Environ Microbiol.* 62: pp.1265-1273, 1996.
56. Wurster, M.; Mundt, S.; Hammer, E.; Schauer, F.; Lindequist, U. Extracellular degradation of phenol by the cyanobacterium *Synechococcus* PCC 7002. *J Appl Phycol.* 15: pp. 171-176, 2003.
57. Lika, K.; Papadakis, I.A. Modelling the biodegradation of phenolic compounds by microalgae. *J Sea Res.* 62: pp.135-146, 2009.
58. Patel, A.; Pawar, P.; Mishra, S.; Tewari, A. Exploitation of marine cyanobacteria for removal of color from distillery effluent. *Ind J Environ Prot.* 21: pp.1118-1121, 2001.
59. Bayly, R.C.; Barbour, M.G. The degradation of aromatic compounds by the meta and gentisate pathways. In: Gibson, D.T. (Ed) *Microbial Degradation of Organic Compounds*. Marcel Dekker Inc. New York, pp. 253-294, 1984.
60. Schoeny, R.; Cody, T.; Warshawsky, D.; Radike, M. Metabolism of mutagenic aromatic hydrocarbons by photosynthetic algal species. *Mutant Res* 197: pp. 289-302, 1988.
61. González, T.; Terrón, M.C.; Yagüe, S.; Junca, H.; Carbajo, J.M.; Zapico, E.J.; Silva, R.; Arana, A.; Téllez, A.; González, A.E. Melanoidin-containing wastewaters induce selective laccase gene expression in the white-rot fungus *Trametes* sp. I-62. *Res Microbiol.* 159: pp. 103-109, 2008.
62. Palanisami, S.; Saha, S.K.; Uma, L. Laccase and polyphenol oxidase activities of marine cyanobacteria: a study with Poly R-478 decolorization. *World J Microbiol Biotechnol.* 26: pp. 63-69, 2010.

63. Saha, S.K.; Swaminathan, P.; Raghavan, C.; Uma, L.; Subramanian, G. Ligninolytic and antioxidative enzymes of a marine cyanobacterium *Oscillatoria willei* BDU 130511 during Poly R-478 decolorization. *Biores Technol.* 101: pp. 3076-3084, 2010.
64. Stewart, W.D.P.; Haystead, A.; Dharmawardene, M.W.N. Nitrogen assimilation and metabolism in blue-green algae. University Press, Cambridge: Cambridge, 1975.
65. Asada, K. The water-water cycle in chloroplasts: Scavenging of active oxygen and dissipation of excess photons. *Annual Rev Plant Physiol Plant Mol Biol.* 50: pp.601-639, 1999.
66. Patil, N.B.; Kapadnis, B.P. Decolorization of melanoidin pigment from distillery spentwash. *Indian J Environ Health.* 37:pp. 84-87, 1995.
67. Hayase, F.; Kim, S.B.; Kato, H. Decolorization and degradation products of the melanoidins by hydrogen peroxide. *Agric Biol Chem.* 48:pp. 2711-2717, 1984.
68. Campbell, W.S.; Laudenbach, D.E. Characterization of superoxide dismutase genes from the cyanobacterium *Plectonococcus boryanum* UTEX 485. In: *The cyanobacterial work shop. The use of cyanobacteria to explore basic biological processes.* USA, 28, 1993.
69. Leonowicz, A.; Cho, N.; Luterek, J.; Wilkolazka, A.; Wotjas, M.; Matus, A.; Hofritchter, M.; Wesenberg, D.; Rogalski, J. Fungal laccase: properties and activity on lignin. *J Basic Microbiol* 41: pp.185-227, 2001.
70. Jingi, L.; Houtian, L. Degradation of azo dyes by algae. *Environ Pollut.* 75: pp. 273-278, 1992.
71. Perales-Vela, H.V.; Pena, J.M.; Canizares, R.O. Heavy metal detoxification in eukaryotic microalgae. *Chemosphere.* 64: pp. 1-10, 2006.
72. Malliga, P.; Uma, L.; Subramanian, G. Lignolytic activity of the cyanobacterium *Anabaena azollae* ML2 and the value of coir waste as a carrier for BGA biofertilizer. *Microbios.* 86: pp. 175- 83, 1996.
73. Semple, K.T.; Cain, R.B.; Schmidt, S. Biodegradation of aromatic compounds by microalgae. *FEMS Microbiol Lett.* 170: pp. 291-300, 1999.

Cursos que ofrece el Icidca

El ICIDCA con más de 40 años de experiencias, fue creado con el objetivo de brindar el soporte científico al desarrollo de las tecnologías de los derivados de la caña de azúcar y en su objeto social se incluye el ofrecer servicios de capacitación, formación y superación técnico-profesional a nacionales y extranjeros vinculados laboralmente en este campo, para lo cual contamos con la aprobación del Ministerio de Educación Superior (MES) y con un grupo de profesionales con la mayor experiencia en las temáticas de los cursos que se imparten.

Ofertamos nuestros servicios de actividades docentes como:

- Cursos de postgrado
- Diplomados
- Entrenamientos teórico-prácticos
- Doctorados
- Talleres

Algunas de ellas en diferentes modalidades, entre las que se encuentran:

- Presencial en nuestras instalaciones
- En las instalaciones del cliente
- Diseñadas a la medida

Relación de cursos

- Energética en el ingenio
- Curso de Idioma
- Alimentación animal en base a la caña y sus derivados
- Análisis de procesos en la industria alcoholera
- Análisis de riesgos y operabilidad en la industria alcoholera
- Aplicaciones del etanol
- Aspectos básicos de microbiología
- Biotecnología industrial
- Diversificación azucarera flexible
- " Introducción al análisis de procesos en la industria azucarera
- La agroindustria azucarera diversificada
- La caña de azúcar y los aditivos en la alimentación animal
- Proceso de producción de aguardiente.
- Producción de alcohol. Conceptos básicos, actualidades y tendencias. Su uso para la producción de ron y aguardientes
- Producción de biogás
- Producción de etanol a partir de la agroindustria azucarera
- Química y tecnología del furfural
- Tecnologías limpias en la industria azucarera
- Diplomado "Análisis de procesos en la industria azucarera"

Análisis comparativo de alternativas de secado del bionutriente Fitomas-E

Felipe Campo-Rodríguez, José Villar-Delgado, Bárbara Hernández-Cruz

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)
Vía Blanca 804 y Carretera Central, La Habana, Cuba
jose.villar@icidca.azcuba.cu

RESUMEN

El bionutriente Fitomas-E se produce industrialmente en una planta de 2 millones de litros anuales localizada en el Icidca. Se presenta como una suspensión acuosa con un 32 %, aproximadamente de materia seca. Se ha investigado la posibilidad del secado del producto con lo que se lograrían apreciables beneficios como son: ahorro de agua, menores gastos de almacenamiento y transporte y empleo de envases más económicos entre otros. Los resultados de pruebas a escala de laboratorio y planta piloto han demostrado la posibilidad de secar el principio activo del Fitomas tanto en secadores por aspersión como de tambor. En el trabajo se analizan las ventajas y desventajas de estos sistemas de secado y se define que la selección está fuertemente influida por factores económicos. Los secadores de tambor se presentan como las mejores opciones.

PALABRAS CLAVE: Fitomas, bionutrientes, secadores.

ABSTRACT

The bionutrient Fitomas-E is produced in a 2 million industrial plant, placed in Icidca. It is obtained as an aqueous suspension with approximately 32 % of dry matter. Investigations about the possibility of drying the product were carried out. In this way it can achieve several advantages as: saving water, using more economic packing material and decreasing transportation and storage costs. Pilot scale results prove the possibility of drying the active principle of Fitomas in spray dryer equipment as well as in drum dryers. Advantages and disadvantages of these systems are analysed in the paper. Using of drum dryers appears as the most economical alternative for carrying out this operation.

KEYWORDS: Fitomas, bionutrients, driers.

INTRODUCCIÓN

El secado de Fitomas-E, un bionutriente de uso agrícola [1] que se produce actualmente como una suspensión acuosa con 32 % de materia seca, puede reportar apreciables beneficios en cuanto a ahorro de agua, empleo de envases más económicos y disminución de los gastos de transportación y almacenamiento entre otros [2]. Se analizan dos variantes de secado: por aspersión [2] y en tambor rotatorio [3]. Aunque técnicamente se pueden obtener productos similares, desde el punto de vista económico existen diferencias que en última instancia

determinarán la selección de una u otra variante.

Alternativas de secado analizadas

Se analizaron las siguientes alternativas de secado:

Secado por aspersión

Esta alternativa tiene grandes ventajas principalmente relacionadas con las características del producto seco y la operación, entre ellas se puede apuntar:

- Posibilidad de secar soluciones, suspensiones o emulsiones.

- Las partículas alcanzan muy bajas temperaturas, por lo que se pueden secar productos termosensibles.
- Obtención de polvos finos y fluidos.
- Gama amplia de tamaños de partículas desde polvos finos hasta formas encapsuladas.
- Amplio rango de diseño de los secadores según las especificaciones del producto.
- Amplia capacidad disponible en el mercado desde pocos kilogramos hasta 100 t^h⁻¹ del producto.
- Operación continua.
- Campos muy variados de aplicación.

Entre las desventajas se encuentran:

- Baja eficiencia térmica comparada con otros sistemas de secado lo que incrementa el gasto de combustible.
- Elevado costo de inversión.

Secado en tambor rotatorio de película

Esta alternativa puede requerir la posterior molienda del producto y un mayor mantenimiento.

Sus ventajas radican en:

- Relativamente alta eficiencia térmica que favorece la economía de combustible.
- Posibilidades de trabajar con vapor de baja, en ocasiones disponible en la fábrica de azúcar.
- Relativamente bajo consumo de energía eléctrica.
- Operación continua.
- Costo de inversión moderado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Fitomas-E como producto seco en polvo

El bionutriente Fitomas-E se produce actualmente por una tecnología de mediana complejidad y consta de las siguientes etapas:

- Obtención del principio activo. Este se produce como una suspensión acuosa al 22 % de materia seca donde la fase sólida se encuentra dispersa en partículas menores de 100 micras.
- Formulación del producto donde se adicionan los microelementos, que son fuentes de nitrógeno, fósforo y potasio. Estos son compuestos con elevada solubilidad en agua. Se añade también una pequeña cantidad de preservante para garantizar su conservación durante el almacenamiento.

El esquema del proceso se presenta en la figura 1.

Para producir el Fitomas-E seco (figura. 2) se requiere secar el principio activo. Posteriormente se obtiene el producto en forma de un kit, envasados en bolsas de polietileno, el principio activo y los macroelementos, de forma independiente.

Datos tecnológicos de las alternativas de secado

Se considera una capacidad de producción de Fitomas-E seco (96 % MS) de 1 240 t al año, equivalente a 3 millones de litros del producto en suspensión acuosa, coincidente con las condiciones de la planta que se construye actualmente en la UEB derivados “Ciro Redondo” en Ciego de Ávila.

Las condiciones de secado para cada variante se relacionan a continuación:

Secado por aspersion

- Principio activo a secar (22 % MS): 2 034 t.
- Agua a evaporar: 1 612 t.
- Combustible consumido (fuel oil): 216 t.
- Electricidad: 115,6 MWh.
- Equipamiento: Secador por aspersion.
- Capacidad de evaporación: 1 500 kg^h⁻¹ de agua.

Secado en tambor rotatorio de película

- Principio activo a secar (22 % MS): 2 034 t.
- Agua a evaporar: 1 612 t.
- Vapor consumido (0,5 Mpa): 2 257 t.

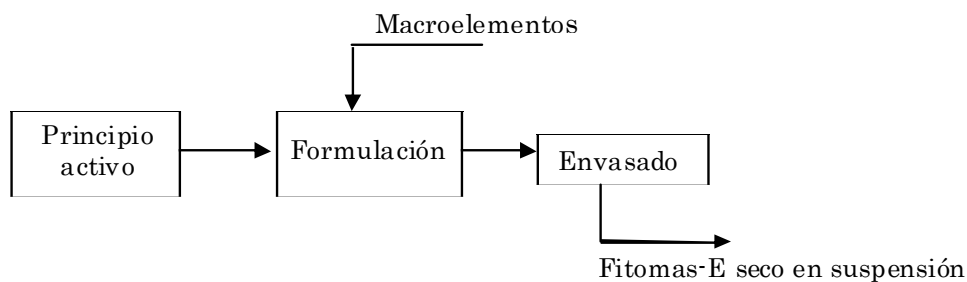


Figura 1. Proceso de obtención de Fitomas-E en suspensión acuosa.

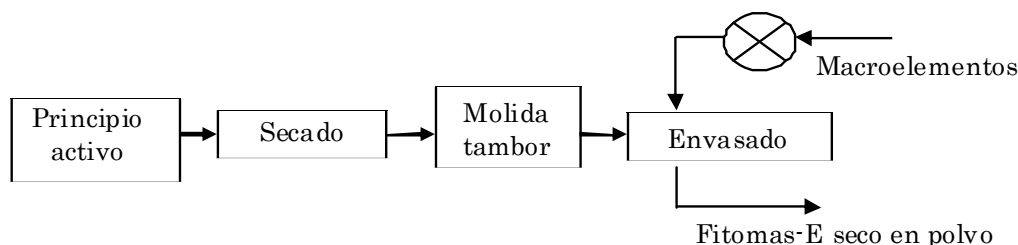


Figura 2. Proceso de obtención de Fitomas-E seco en polvo.

- Electricidad consumida: 62 MWh.
- Equipamiento: Secador de tambor de doble cilindro. Capacidad de evaporación: 1 500 kgh⁻¹ de agua.
- Molino. Capacidad de 1,0 m³h⁻¹. Para garantizar la granulometría óptima del producto.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una comparación de las variantes planteadas se ha informado para el secado de levadura forrajera [4]. De esos resultados, se han tomado algunos datos técnico-económicos que se han actualizado y ajustado a las características de este trabajo (ver tabla 1).

Los índices económicos favorecen el secado mediante tambor rotatorio de película, tanto desde el punto de vista de la inversión (1,8 veces mayor para aspersión) como del gasto de energía (40 % menor para tambor). El gasto para la producción de un kilogramo de principio activo seco por la variante de aspersión supera en 1,8 veces la de secado por tambor. El empleo de vapor de baja (no incluido en los índices) es otra ventaja del secado por tambor ya que este medio de calenta-

miento producto de la cogeneración en tiempo de zafra contribuiría a disminuir los gastos de energía.

Un estimado del efecto económico del secado del Fitomas-E mediante el empleo de secador de tambor rotatorio arroja que los gastos derivados de la inversión y el uso de combustible incrementan en 0,18 pesos el gasto por kilogramo del producto mientras que los ahorros por transporte, almacenamiento y sustitución del tipo de envase se montan en 0,53 pesos por kilogramo. En general se obtiene una reducción en los gastos de 0,35 pesos por kilogramo del producto.

CONCLUSIONES

El secado del principio activo del Fitomas-E es necesario para la producción de un producto seco en polvo. De las variantes analizadas: aspersión y tambor rotatorio de película, esta última por su mayor eficiencia térmica y su menor costo de inversión demostró ser la mejor alternativa para esta operación. El nivel de gasto por kilogramo de producto como consecuencia del secado se disminuye en 0,35 pesos.

Tabla 1. Indicadores económicos comparativos estimados de las variantes de secado

Equip	Costo de inversión e instalación USD	VR	Gasto de energía (fuel oil) t	VR	Gastos de amortización y mantenimiento USD	VR	Fuerza de trabajo	Gasto por kg de PA	VR
Tambor + molino	470 000	1	151,5	1	47 000	1	1 operario	0,31	1
Aspersor	1 300 000	2,8	250,9	1,7	97 500	2,8	1 operario	0,55	1,8

VR: Valor relativo, PA: Principio activo

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Montano R., Zuaznabar R., García A., Viñals M. y Villar J. Fitomas -E: Bionutriente derivado de la industria azucarera. ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar. La Habana 41(3):14-21, 2007.
2. Villar J., Campo F., Hernández B. y Ruisánchez Y. Fitomas-E seco Tecnología y aplicaciones. Diversificación 2013. Congreso Internacional sobre Azúcar y Derivados. La Habana. Memorias, 14-16 de octubre 2013
3. Parikh D. Solids Drying. Basis and Applications. Chemical Engineering. USA, April, 42-45, 2014.
3. Walas S.M. Chemical Process Equipment. Selection and Design (Butterworth-Heinemann Ed.). USA, pp. 254-263, 1990.
4. Argudín, O. Análisis técnico económico del secado de la crema de levadura mediante el uso de secadores de tambor contra secadores de atomización. CubaAzucar. La Habana, Julio-agosto, 28-37, 1967.

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]



Congreso Internacional sobre Azúcar y Derivados **DIVERSIFICACIÓN 2015**

del 5 al 9 de octubre, Hotel Nacional de Cuba, La Habana

ANUNCIO I
Noviembre 2014



Estimados colegas:

Nos complace invitarlos al XIII Congreso Internacional de Azúcar y Derivados de la Caña, que convocado por el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), se celebrará en el Hotel Nacional de Cuba, Monumento Nacional, del 5 al 9 de octubre del año 2015.

Este Congreso, que está dirigido a divulgar el conocimiento más reciente sobre el aprovechamiento de las potencialidades de la caña de azúcar, tendrá además un especial énfasis en mostrar tecnologías, productos y servicios internacionales asociados a esta industria. Por ello se convoca a tecnólogos, investigadores, empresarios y productores, de todo el mundo, para propiciar un activo intercambio de información, conocimientos y experiencias sobre este sector. En esta oportunidad el evento se orientará a los aspectos relacionados con:

- Avances en la tecnología azucarera
- Eficiencia industrial
- Energía a partir de biomasa
- Alcoholes y bebidas
- Alimento animal
- Agricultura cañera
- Sistemas de pago de la caña
- Bio-productos para la agricultura
- Gestión de la calidad
- Gestión de medio ambiente
- Experiencias en cadenas productivas y de valor

Simultáneamente con el Congreso, se celebrará la Feria Internacional Expoazúcar 2015. Se convoca a todas las empresas internacionales vinculadas a nuestro sector a mostrar lo más reciente en tecnologías, productos y servicios. En el marco de la feria se realizará un Foro de Negocios que facilitará los contactos con clientes potenciales y en el que se divulgarán las posibilidades de negocios e inversiones en el sector azucarero cubano.

En comunicaciones posteriores les informaremos sobre el Programa General e Instrucciones a los Autores, así como otros aspectos de la organización que se vayan definiendo.

Con el objetivo común de continuar contribuyendo al desarrollo de las potencialidades de la caña de azúcar, les reiteramos nuestra invitación para encontrarnos en el Congreso y disfrutar además de las bellezas naturales e históricas de La Habana.

Con afectuosos saludos,

Dr. Luis D. Galvez Taupier
Director General ICIDCA
Presidente del Comité Organizador