

OPTIMIZACIÓN DE LA EXTRACCIÓN ENZIMÁTICA DE JUGO DE BANANO A PARTIR DE LOS CULTIVARES ENANO GIGANTE, FHIA-17 Y FHIA-23

Optimization of the enzymatic extraction of a banana beverage using the cultivars enano gigante, FHIA-17 Y FHIA-23

Pilar Escalante-Minakata, Vrani Ibarra-Junquera ✉, Jorge Humberto Puente-Preciado, Arturo Moisés Chávez-Rodríguez, José de Jesús Ornelas-Paz, Jaime David Pérez-Martínez, Mario Orozco-Santos

(PEM) (VIJ) (JHPP) (AMCR) Laboratorio de Bioingeniería, FIC. Universidad de Colima. Colima, México.
ibarrajunquera_urani@gmail.com

(JJOP) Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C.-Unidad Cuauhtémoc. Cd. Cuauhtémoc, Chihuahua, México.

(JDPM) Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. S.L.P, México.

(MOS) Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Campo Experimental Tecomán. Colima, México.

Artículo recibido: 18 de noviembre de 2009, **aceptado:** 01 de febrero de 2013

RESUMEN. En este trabajo se optimizó la extracción de una bebida de banano por métodos enzimáticos en tres cultivares. Se emplearon dos enzimas comerciales: una amilasa (Glucozyme-400) y una combinación de celulasa, hemicelulasa y pectinasa (Macerex PM). Se optimizó el estado de madurez de la fruta, la variedad, el tipo de enzima y la dilución, usando como variables de respuesta la concentración de sólidos solubles (°Brix) y el rendimiento de la extracción. La enzima amilasa no mostró un efecto positivo en la extracción en ninguna etapa de madurez. El complejo Macerex PM presentó un efecto positivo en el rendimiento; sin embargo, al aumentar el factor de dilución disminuye el rendimiento y la concentración de sólidos solubles (°Brix).

Palabras clave: banano, extracción enzimática, superficie de respuesta.

ABSTRACT. The extraction of a banana beverage using enzymatic methods and three cultivars was optimised in this study. Two commercial enzymes were used: an amylase (Glucozyme-400) and a combination of pectinase, hemicellulase and cellulase (Macerex PM). The stage of ripeness of the fruit, the variety, the type of enzyme and the dilution were optimised using the juice yield and the concentration of soluble solids (°Brix) as response variables. The enzyme amylase presented no positive effect on extraction at any stage of ripeness. The Macerex PM complex presented a positive effect with respect to yield; however, as the dilution factor increased, the yield and the concentration of soluble solids (°Brix) decreased.

Key words: banana, enzymatic extraction, response surface.

INTRODUCCIÓN

El banano es la fruta tropical más consumida en el mundo, se encuentra disponible durante todo el año, aportando nutrientes como carbohidratos, minerales y vitaminas (Cheirsilp & Umsakul, 2008).

Debido al aroma y sabor ampliamente apreciado que tiene el fruto, podría ingresar al mercado de jugos de frutas, solo o en combinación con otras frutas (Lee et al. 2006a). Si bien, se entiende por jugo al líquido encontrado en las frutas y plantas en su estado natural, en el caso del jugo de

banano no es posible realizar una simple compresión del fruto para su obtención. De ahí que la adaptación de métodos mecánicos y enzimáticos, para su extracción, ha sido objeto de estudio por autores como Kyamuhangire et al. (2002), Kyamuhangire et al. (2006), Lee et al. (2006a) y Lee et al. (2006b). Una de las desventajas que presentan los métodos mecánicos que emplean agua a temperaturas cercanas al punto de ebullición, es el alto deterioro que sufre el jugo de banano. En estos casos se obtiene un jugo turbio, de color gris, viscoso y tiende a sedimentarse durante su almace-

namiento; por lo que debe ser clarificado antes de su comercialización (Lee *et al.* 2006a). Estas características en el jugo están asociadas con la presencia de carbohidratos poliméricos como el almidón, los cuales dependen del estado de madurez del fruto. Adicionalmente, su presencia dificulta la filtración y puede causar oscurecimiento enzimático durante su almacenamiento. Por lo que, el objetivo principal del proceso de clarificación es eliminar sólidos insolubles y degradar pectinas y almidón (Cheirsilp & Umsakul, 2008). Diversos estudios demuestran que la aplicación de complejos enzimáticos comerciales en la clarificación de jugo de banano facilita la liberación de líquidos y aumenta el rendimiento de extracción (Viquez *et al.* 1981; Koffi *et al.* 1991; Kyamuhangire *et al.* 2002; Cheirsilp & Umsakul, 2008). En el caso del cultivar Enano Gigante (Musa AAA subgrupo Cavendish) se ha estudiado el efecto de la temperatura, concentración de enzima y tiempo de contacto para diferentes complejos enzimáticos en el proceso de obtención y clarificación del jugo (Viquez *et al.* 1981; Kyamuhangire *et al.* 2002). Sin embargo, se desconoce la influencia que tienen en el proceso de extracción del jugo, el estado de madurez, la variedad del fruto y relación pulpa/agua empleada. Es importante mencionar que materiales mejorados como los híbridos FHIA-17 y FHIA-23 presentan resistencia natural a la Sigatoka Negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet), por lo que son variedades potencialmente comerciales tolerantes a problemas fitosanitarios (Piña *et al.* 2006), las cuales no se industrializan en la actualidad. En el presente trabajo se evaluó la influencia del tipo y concentración de enzima, la relación pulpa/agua y estado de madurez de tres cultivares distintos de banano sobre el rendimiento de extracción y la concentración de sólidos solubles totales (SST) °Brix. Adicionalmente, el jugo obtenido se caracterizó por técnicas cromatográficas y se detectó la presencia de compuestos volátiles responsables del aroma del banano.

MATERIALES Y MÉTODOS

El proceso de optimización de la extracción

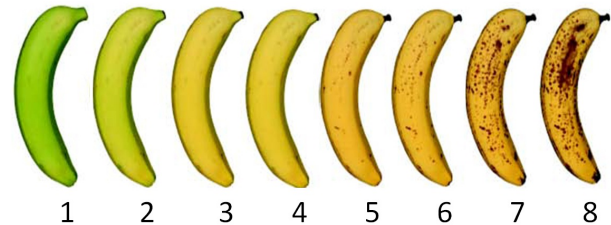


Figura 1. Etapas de madurez del banano utilizadas en este estudio.

Figure 1. Banana stages of ripeness used in this study.

de jugo de banano se llevó a cabo en dos etapas. En la primera se estudió el efecto del estado de madurez, la dilución o adición de agua y el tipo de enzima y de cultivar. Se realizó un análisis multivariable de superficie de respuesta 3^4 , donde las variables de respuesta fueron el rendimiento de extracción y el contenido de SST.

En la Figura 1 se muestra una escala que representa los cambios de color de la cáscara del banano asociados a los diferentes estados de madurez. Se determinó usar las etapas 4, 6 y 8 por ser considerada fruta de rechazo, por su corta vida de anaquel y su clara identificación visual, así como la facilidad para separar la cáscara de la pulpa lo cual permitiría su potencial procesamiento a nivel industrial. Los niveles de concentración de cada tipo de enzima y dilución se muestran en la Tabla 1. Una vez determinadas las condiciones a las cuales son maximizadas las variables de rendimiento y contenido de SST, se realizó un análisis multivariable 3^3 para establecer las condiciones óptimas de concentración de enzima y dilución de los tres cultivares estudiados. Posteriormente se realizó un análisis cualitativo, mediante técnicas cromatográficas de los compuestos volátiles presentes en los jugos obtenidos. Se identificó la presencia de ésteres y acetatos de cadena corta, los cuales han sido reportados como moléculas características del sabor del banano.

Extracción enzimática de jugo de banano

Para el estudio del proceso de extracción se utilizaron tres cultivares, Enano Gigante, FHIA-17 y FHIA-23; cultivados bajo las mismas condiciones de riego y fertilización en el Campo Experimental INIFAP, en Tecomán, Colima, México.

Tabla 1. Interpretación de los factores y variables de respuesta utilizados en el diseño de superficie de respuesta factorial 3^4 y 3^3

Table 1. Interpretation of the response factors and variables used in the factorial response surface design 3^4 and 3^3 .

Factores	Niveles	Código
Variedad	FHIA-17	-1
	Cavendish	0
	FHIA-23	1
Madurez	4	-1
	6	0
	8	1
Dilución (peso banano/ peso agua, Adimensional)	01:00.5	-1
	01:01	0
	01:02	1
[Enzima] Glucozyme- 400	3 mL L ⁻¹ pure	-1
	6 mL L ⁻¹ pure	0
	12 mL L ⁻¹ pure	1
[Enzima] Macerex PM	1 mL L ⁻¹ pure	-1
	3 mL L ⁻¹ pure	0
	6 mL L ⁻¹ pure	1

La fruta fue recolectada en la etapa madurez 1 (Figura 1) para continuar con el proceso de maduración a 20 °C, sin atmosfera controlada. El color de la cáscara fue monitoreado y comparado visualmente con la escala propuesta en la Figura 1. Posteriormente, se realizó la extracción enzimática en cada etapa de madurez definida previamente por medio de las siguientes condiciones experimentales.

Los bananos de cada cultivar se sumergieron en una solución de hipoclorito de sodio al 5 % durante 5 min, para luego pelar y cortar en piezas. Posteriormente, se peso la cantidad necesaria de pulpa de banano y agua para obtener la relación kg de pulpa/kg de agua de 1 : 0.5, 1 : 1 y 1 : 2. La mezcla se homogenizó con agitador eléctrico manual y se adicionó el volumen necesario de los complejos enzimáticos comerciales, para obtener las concentraciones finales propuestas. Se empleó la enzima Glucozyme-400, compuesta principalmente por amilasas, y un complejo enzimático Macerex PM (Enmex S.A. de C.V) que consistió en una mezcla de tres enzimas; celulasas, hemicelulasas y pectinasas. Posteriormente las muestras se incubaron a 50 °C durante 2 h, para luego inactivar el complejo enzimático a 90 °C por 1 min y filtrar cada una de las muestras. Posteriormente se colocaron

en refrigeración mientras se determinaba la concentración de SST y el rendimiento. Para el análisis cromatográfico, se tomaron alícuotas de 5 mL que se colocaron en viales de 10 mL, que se sellaron, para evitar la pérdida de compuestos volátiles, y almacenarlos a 4 °C. La determinación de SST, se realizó con un refractómetro manual (PAL-1, ATAGO, Tokio, Japón) calibrado con agua destilada, para cada una de las condiciones establecidas. Para determinar el rendimiento de extracción el jugo obtenido se pesó para calcular mediante la siguiente ecuación: Rendimiento = (peso de jugo (g) - Peso del agua adicionada (g))/(Peso del banano utilizado (g))*100

Identificación de compuestos volátiles en jugos de banano

El análisis de la fracción volátil de los jugos de banano de los tres cultivares se realizó en un cromatógrafo de gases acoplado a un detector de espectrometría de masas (GC-MS) modelo Saturn Varian 2000.

El GC-MS cuenta con un sistema automático de calentamiento, agitación e inyección de la muestra, que permite separar la fracción volátil de la fase líquida de la muestra y concentrarla en el espacio de cabeza ubicado entre el líquido y la tapa del vial. Para la optimización de las condiciones de extracción de compuestos volátiles de los jugos de banano obtenidos, se colocó un volumen de 5 mL de cada jugo en viales de 10 mL y se sellaron, para incubarse a temperaturas de 70, 80 y 90 °C durante 10, 20 y 30 min con agitación, esto para lograr la máxima concentración de ésteres y acetatos de cadena corta en el espacio de cabeza. Para la identificación cromatográfica de la fracción volátil las muestras se colocaron en calentamiento a 70 °C y se mantuvieron en agitación constante a 250 rpm durante 10 min. Posteriormente se inyectó, de manera automática, 1 µL de la mezcla de compuestos volátiles presentes en el espacio de cabeza, en el puerto de inyección para su posterior separación e identificación.

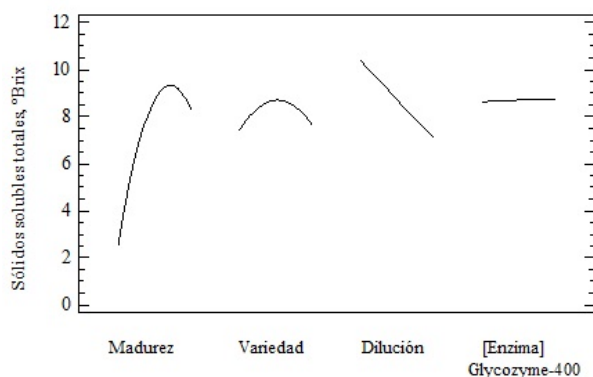


Figura 2. Diseño de superficie de respuesta factorial 3^3 y resumen de resultados de las variables de respuesta, SST ($^{\circ}$ Brix) y rendimiento de extracción (%).

Figure 2. Factorial response surface design 3^3 and summary of results of the response variables, SST ($^{\circ}$ Brix) and extraction yield (%).

Las condiciones de operación fueron las siguientes: se utilizó una columna VF-Waxms, Helio como gas acarreador con un flujo 1 mL min^{-1} ; el programa de temperatura comenzó a $40 \text{ }^{\circ}\text{C}$ por 3 min, después se incrementó en relación de $4 \text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$ hasta alcanzar $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (haciendo un periodo de 15 min). Finalmente, se incrementó a una razón de $10 \text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$ hasta $180 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y una vez alcanzada esta temperatura finaliza la corrida. La temperatura del puerto de inyección y el detector fueron de 180 y $230 \text{ }^{\circ}\text{C}$, respectivamente.

Diseño de experimentos y análisis estadístico de los datos

Se realizaron dos diseños de superficie de respuesta factorial 3^4 y 3^3 , en tres niveles, donde la concentración de SST y el rendimiento fueron las variables respuesta. Todos experimentos se realizaron por triplicado y el análisis estadístico de la optimización de la superficie de respuesta se llevó a cabo con el software Statgraphics v.5.0.

RESULTADOS

Efecto de los complejos enzimáticos en la extracción de jugo de banano

En la primera etapa se estudió la influencia

del estado de madurez, la relación pulpa/agua (dilución), el tipo de cultivar y el complejo enzimático en el proceso de obtención de jugo de banano. Se utilizaron dos complejos enzimáticos comerciales, Glucozyme-400 y Macerex-PM por separado y en combinación. En la Tabla 1 se muestra el código asignado a cada factor y nivel empleado en la interpretación del análisis estadístico. La Figura 2, muestra la influencia de la etapa de madurez, la dilución, el tipo de cultivar y la enzima Glucozyme-400 sobre la concentración de SST, del jugo de banano obtenido.

Para el caso de la enzima Glucozyme-400, además las etapas de madurez mostradas en la Tabla 1 se probó en la etapa de madurez 1, de acuerdo con la Figura 1, no tiene efecto positivo en la obtención de jugos de banano en la primera etapa de madurez, al obtenerse concentraciones SST bajas, aproximadamente $2 \text{ }^{\circ}\text{Brix}$, en etapas de madurez avanzadas se observa un incremento con valores cercanos a $10 \text{ }^{\circ}\text{Brix}$ para posteriormente tener un ligero decremento. Es importante señalar que no se observó un cambio significativo en la concentración de SST en la etapa de madurez 1, en ninguna de las tres concentraciones de enzima probadas. Por otro lado, los valores obtenidos del rendimiento de extracción fueron negativos en esta misma etapa de madurez, es decir, se retuvo parte del líquido del fruto en el bagazo, éste comportamiento se observó en los tres cultivares y los rendimientos de extracción obtenidos fueron menores al 25 %. Al estudiar el efecto de la extracción de la enzima Glucozyme-400 en los tres cultivares, se encontró que la variedad Enano Gigante presentó la máxima concentración de sólidos solubles y que su comportamiento es inversamente proporcional a la dilución. En contraste, el complejo enzimático Macerex PM mostró influencia positiva sobre la extracción de jugo de banano alcanzando rendimientos del 60 %. Además, se observó que la etapa de madurez tiene un papel importante en la extracción, obteniéndose los mejores resultados cuando el fruto presenta una coloración amarilla uniforme en la cáscara justo antes de que comience a presentar manchas cafés en la superficie.

En la Figura 3 a) y b) se muestra que el tipo de cultivar no tiene influencia en el rendimiento de

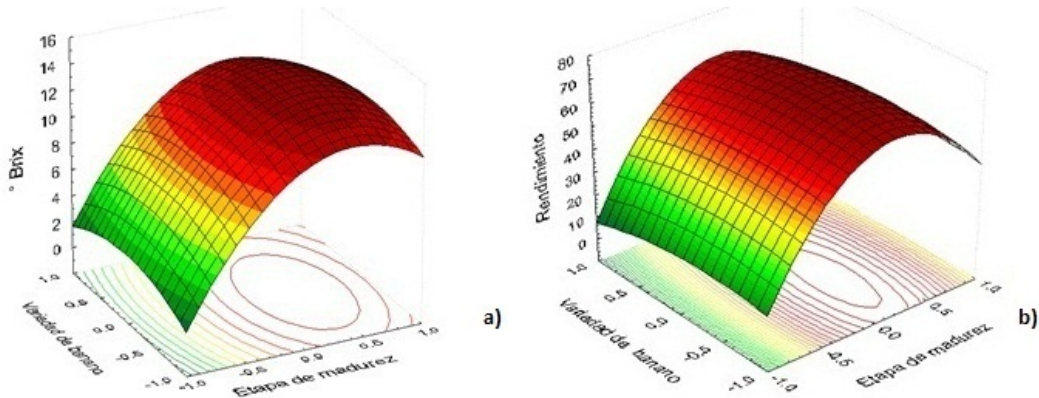


Figura 3. Gráficas de superficie de respuesta del efecto de la variedad de banano y la etapa de madurez sobre las variables de respuesta: rendimiento de extracción (%) y sólidos solubles totales (°Brix).

Figure 3. Response surface plots for the effect of the banana cultivar and the stage of ripeness on the response variables: extraction yield (%) and total soluble solids (°Brix).

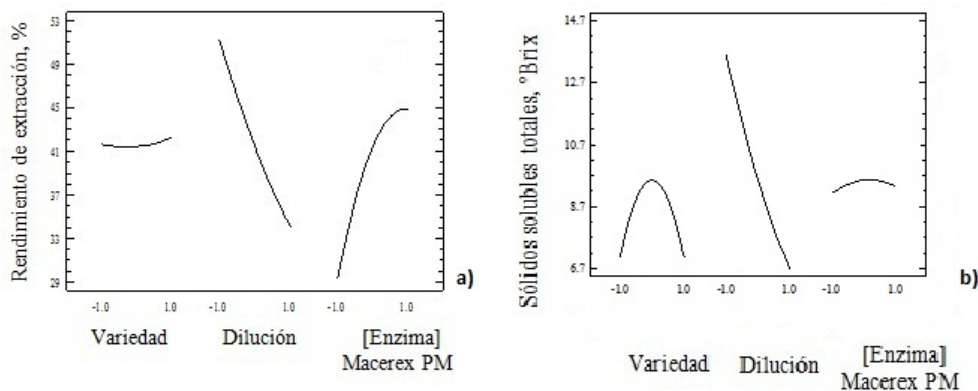


Figura 4. Efecto de la variedad de banano, dilución y concentración de la enzima (Macerex PM) sobre las variables de respuesta: rendimiento de extracción (%) y concentración de sólidos solubles totales (°Brix).

Figure 4. Effect of the banana cultivar, dilution and enzyme concentration (Macerex PM) on the response variables: extraction yield (%) and total soluble solids concentration (°Brix).

extracción de jugo, pero el cultivar Enano Gigante presentó una mayor concentración de SST, con respecto a los cultivares híbridos. A partir de los datos obtenidos en la primera etapa se realizó una segunda optimización de las condiciones de extracción mediante un análisis de superficie de respuesta 3^3 en el cual se fijó el tipo de enzima (Macerex PM) y etapa de madurez de 6 (cuando la cáscara presenta una coloración amarilla uniforme), nuevamente las variables de respuesta fueron la concentración de SST y el rendimiento de extracción. Éste análisis permite encontrar, la relación peso de banano/peso agua (dilución) y la concentración de enzima en la cual

se maximiza el rendimiento de extracción y la concentración de SST. Los resultados obtenidos de la optimización se muestran en la Tabla 2 y a partir de estos se obtuvieron las Figuras 4 a) y b) que muestran el análisis de las interacciones principales entre las tres variables. En el caso del rendimiento (Figura 4a) se observa que el cultivar FHIA-23 presentó un ligero incremento respecto a los otros dos cultivares. Por otro lado el aumento de la relación pulpa/agua no incrementa el rendimiento, situación contraria a lo que se podría esperar ya que una mayor cantidad de agua podría favorecer la separación durante el filtrado, posterior a la reacción enzimática. En el caso

Tabla 2. Diseño de superficie de respuesta factorial 3^3 y resumen de resultados de las variables de respuesta, SST ($^{\circ}$ Brix) y rendimiento de extracción (%).

Table 2. Factorial response surface design 3^3 and summary of results of the response variables, SST ($^{\circ}$ Brix) and extraction yield (%).

Experimento No.	Factor A	Factor B	Factor C	Variables de respuesta	
	Variedad	Dilución (p/p)	[Enzima]	SST ($^{\circ}$ Brix)	Rendimiento (%)
1	-1	-1	-1	11.6	38.14
2	0	-1	-1	11.2	34.98
3	1	-1	-1	10.5	51.05
4	-1	0	-1	6.1	15.4
5	0	0	-1	10	31
6	1	0	-1	6.9	39.87
7	-1	1	-1	3.5	17.17
8	0	1	-1	6.8	35.84
9	1	1	-1	4.3	11.45
10	-1	-1	0	11.8	51.8
11	0	-1	0	13.8	43.69
12	1	-1	0	10.8	57.16
13	-1	0	0	6.4	45.8
14	0	0	0	10.5	35
15	1	0	0	6.9	48.27
16	-1	1	0	3.5	42.47
17	0	1	0	6.8	37.35
18	1	1	0	4.2	21.89
19	-1	-1	1	11.8	52.1
20	0	-1	1	13.5	52.25
21	1	-1	1	10.5	57.16
22	-1	0	1	7.3	46.2
23	0	0	1	8.2	40
24	1	0	1	7	48.27
25	-1	1	1	3.5	46.99
26	0	1	1	6.8	44.28
27	1	1	1	4.2	26.31

del efecto de la concentración de enzima se observa que un aumento en la concentración incrementa el rendimiento hasta alcanzar un valor máximo y posteriormente se mantiene constante. Por otro lado, el análisis multifactorial, en el que se optimizó la concentración de SST (Figura 4b) el cultivar Enano Gigante presentó la mayor cantidad de SST, en este caso en la concentración de enzima no se observan efectos.

En la Tabla 3 se muestran los resultados de la optimización de superficie de respuesta y la validación experimental de los valores óptimos calculados para cada una de las cultivares de banano estudiados. Todos los experimentos se realizaron por triplicado para cada una de las condiciones en las que maximizaron las variables de respuesta

propuestas. El análisis de la fracción volátil, por GC-MS de los tres cultivares mostró que existen diferencias entre los cultivares híbridos y el Enano Gigante. En la Figura 5 se muestran los 12 principales compuestos volátiles detectados por GC-MS de las tres variedades de banano. Se observa que tanto el acetato de sec-amilo y el acetato de isoamilo, también conocidos como aceite de banana, fueron los dos compuestos detectados en mayor concentración. En el caso de los híbridos FHIA-17 y FHIA-23 se detectó una mayor abundancia de acetato de sec-amilo respecto al cultivar Enano Gigante, mientras que el híbrido FHIA-17 presentó la mayor concentración de acetato de isoamilo.

Tabla 3. Resultados de la optimización de superficie de respuesta y validación experimental de los valores óptimos calculados para cada una de las variedades de banano.

Table 3. Results of the response surface optimisation and experimental validation of the optimal values calculated for each banana cultivar.

Variedad	Factor A Dilución (p/p)	Factor B [Enzima] mL L ⁻¹ pure	Variables de respuesta Optimización		Variables de respuesta Validación experimental	
			SST (°Brix)	Rendimiento (%)	SST (°Brix)	Rendimiento (%)
FHIA-17	01:00.5	5.8	11.06	—	11.25 ± 0.15	—
		6	—	60.18	—	62.98 ± 4.07
Enano Gigante	01:00.5	1.6	13.9	—	13 ± 0.23	—
		5.9	—	63.6	—	50.89 ± 2.4
FHIA-23	01:00.5	1	10.73	—	10.58 ± 0.73	—
		2.7	—	55.7	—	58.21 ± 9.13

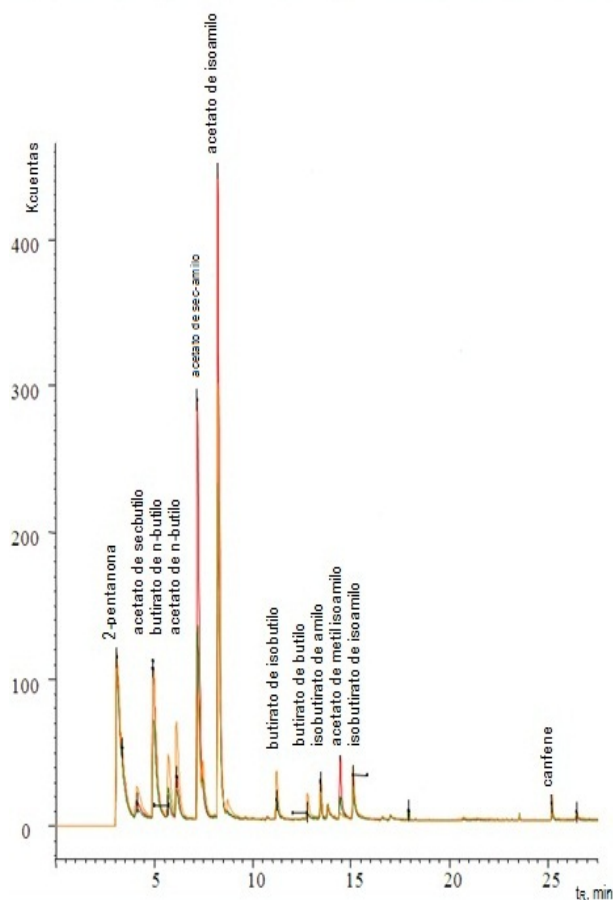


Figura 5. Cromatograma de jugo de banano obtenido a partir de los cultivares Enano Gigante (amarillo), FHIA-17 (rojo) y FHIA-23 (verde), detectados por GC-MS.

Figure 5. Banana juice chromatogram obtained from the cultivars Enano Gigante (yellow), FHIA-17 (red) and FHIA-23 (green), detected by GC-MS.

Adicionalmente, en la Tabla 4 se muestran los resultados de las abundancias relativas de cada uno de los compuestos identificados.

DISCUSIÓN

Los complejos enzimáticos son ampliamente utilizados, en la extracción de jugos de frutas a nivel industrial, ya que facilitan la liberación de líquidos y aumentan su rendimiento (Kyamuhangire *et al.* 2002). De ahí que en este trabajo se evaluó el impacto de 2 complejos enzimáticos comerciales y su relación con la etapa de madurez, dilución y cultivar, tomando el contenido de SST y el rendimiento como variables de respuesta. La optimización del diseño factorial 3⁴ de superficie de respuesta mostró que la mayor concentración de SST se obtiene cuando los bananos se encuentran en la etapa de madurez 6, es decir, cuando presentan una coloración amarilla uniforme de la piel, para posteriormente observar una ligera disminución.

La coloración amarilla de la cáscara de los bananos es un atributo estrechamente relacionado con el incremento en la concentración de azúcares, así como un atributo de poscosecha relacionado con la selección de la materia prima (Piña *et al.* 2006; Osuna-García *et al.* 2008). Se detectaron diferencias entre el cultivar Enano Gigante y los híbridos tetraploides FHIA-17 y FHIA-23 los cuales no mostraron diferencias significativas entre ellos.

Al respecto se tiene reportes que establecen

Tabla 4. Compuestos volátiles obtenidos de los extractos de banano de los cultivares, Enano Gigante, FHIA-17 y FHIA-23, detectados por GC-MS.

Table 4. Volatile compounds obtained from the banana extracts of the cultivars Enano Gigante, FHIA-17 and FHIA-23, detected by GC-MS.

t_R	Compuesto detectado	FHIA-17	Enano Gigante	FHIA-23
3.08	2-Pentanona	397704	715373	728032
4.94	Acetato de sec-butilo	1.353 e+6	1.343 e+6	944306
5.7	Butirato de n-butilo	83206	497523	241848
6.12	Acetato de n-butilo	317462	735189	227081
7.21	Acetato de sec-amilo	2.602 e+6	761839	1.105 e+6
8.23	Acetato de isoamilo (aceite de banana)	3.423 e+6	2.392 e+6	1.841 e+6
11.21	Butirato de isobutilo	87459	247694	104987
12.78	Butirato de butilo	31010	123061	37240
13.82	Isobutirato de amilo	42951	59272	47788
14.43	Acetato de metil isoamilo	309201	20850	106831
15.09	Isobutirato de isoamilo	196653	244750	163298
25.19	Canfene	34886	63095	30741

una ligera variación en la concentración de SST entre los híbridos FHIA-17 y FHIA-23 de 18.04 % y 17.39 %, respectivamente (Piña *et al.* 2006); mientras que para el cultivar Enano Gigante se han reportado valores superiores al 20 % (Kyamuhangire *et al.* 2002). Por otro lado, se demostró que la adición de agua no mejora el rendimiento de extracción ya que en todos los casos, la relación pulpa/agua (1:05) maximiza la concentración de SST así como el rendimiento. También se encontró que con bajas concentraciones de enzima (3 mL / L⁻¹ de pure) se logra obtener la máxima concentración de SST. En contraste, al utilizar una mayor concentración de enzima se logró incrementar el rendimiento de extracción debido al importante papel que tienen en la liberación del líquidos (Kyamuhangire *et al.* 2002). Al comparar los dos complejos enzimáticos comerciales probados en el estudio se demostró que el complejo enzimático compuesto por pectinasas, celulasas y hemicelulasas (Macerex PM) mejoró 2.5 veces el rendimiento de la extracción. Por su parte la enzima amilasa Glucozyme-400 no tuvo efecto positivo en la extracción de los líquidos del banano en ninguna etapa de madurez. Lo que indica que el proceso de extracción siguió el comportamiento típico de los frutos de banano que son cosechados en la madurez fisiológica que contienen de un 20

a 25 % de almidón, el cual se hidroliza casi en su totalidad durante la maduración (Piña *et al.* 2006). Como resultado del análisis cromatográfico de los jugos de banano se identificaron esteres de ácidos grasos de cadena corta tales como acetatos y butiratos, entre los que destacó el acetato de isoamilo. Al respecto Jordan *et al.* (2001), reportó que el acetato de isoamilo es uno de los compuestos volátiles presente en el banano con mayor abundancia relativa, conocido como aceite de banana o aceite de plátano, que junto con la 2-pentanona y los ésteres de butilo forman parte de los compuestos responsables del aroma característico del banano (Pérez *et al.* 1997). De ahí que el análisis cromatográfico de los jugos de banano, obtenidos a partir de los tres cultivares, demostró que contienen los principales compuestos volátiles responsables del sabor característico a banana.

AGRADECIMIENTOS

V. Ibarra-Junquera agradece por apoyo financiero a PROMEP, proyecto 103.4/07/2588 y al Fondo Ramón Álvarez Buylla. P. Escalante-Minakata agradece al CONACYT por el apoyo otorgado para la estancia posdoctoral durante la cual se llevó a cabo la realización de este trabajo.

LITERATURA CITADA

- Cheirsilp B, Umsakul K (2008) Processing of banana-based wine product using pectinase and alfa-amylase. *Journal of Food Process Engineering* 31: 78-90.
- Jordán MJ, Tandon K, Shaw PE, Goodner KL (2001) Aromatic profile of aqueous banana essence and banana fruit by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) and gas chromatography-olfactometry (GC-O). *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 49: 4813-4817.
- Koffi EK, Sims CA, Bates RP (1991) Viscosity reduction and prevention of browning in the preparation of clarified banana juice. *Journal of Food Quality* 14: 209-218.
- Kyamuhangire W, Myhre H, Sørensen HT, Pehrson R (2002). Yield, characteristics and composition of banana juice extracted by the enzymatic and mechanical methods. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 82: 478-482.
- Kyamuhangire W, Krekling T, Reed E, Pehrson R (2006) The microstructure and tannin content of banana fruit and their likely influence on juice extraction. *Journal of the science of food and agriculture* 86: 1908-1915.
- Lee WC, Yusof S, Hamid NSA, Baharin BS (2006a) Optimizing conditions for hot water extraction of banana juice using response surface methodology (RSM). *Journal of Food Engineering* 75: 473-479.
- Lee WC, Yusof S, Hamid NSA, Baharin BS (2006b) Optimizing conditions for enzymatic clarification of banana juice using response surface methodology (RSM). *Journal of Food Engineering* 73: 55-63.
- Lee WC, Yusof S, Hamid NSA, Baharin BS (2007). Effects of fining treatment and storage temperature on the quality of clarified banana juice. *LWT - Food Science and Technology* 40: 1755-1764.
- Osuna-García JA, Vázquez-Valdivia V, Pérez-Barraza MH (2008). Caracterización postcosecha de cultivares de plátano para consumo fresco. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 14: 139-145.
- Pérez AG Cert A, Ríos JJ, Olías JM (1997) Free and glycosidically bound volatile compounds from two cultivars: Valery and Pequeña Enana. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 45: 4393-4397.
- Piña G, Laborem-Escalona G, Surja J, Marín C, Rangel L, Espinoza M, Delgado A (2006) Atributos de calidad en frutos de híbridos FHIA (Musa) para tres ciclos de cosecha. *Revista de la Facultad de Agronomía, Caracas* 23: 425-442.
- Viquez F (1998). Obtención de jugo clarificado de banano en el nivel de planta piloto y otras alternativas para la industrialización de banano y plátano. In: Guzmán Chaves J.A (eds.) ACORBAT, Memorias XII reunión. Realizada en República Dominicana, Santo Domingo. Del 27 de octubre al 2 de noviembre 1996. San Jose (CRI): ACORBAT. 1998, 463 pp.