

OBTENCIÓN DE ETANOL Y UNA BEBIDA ALCOHÓLICA TIPO APERITIVO POR FERMENTACIÓN DE PLÁTANO MADURO

Beatriz Elena Valdés-Duque*; José Jaime Castaño-Castrillón**; Mario Arias-Zabala***

RESUMEN

VALDÉS D., B.E.; CASTAÑO C., J.J.; ARIAS Z., M. Obtención de etanol y una bebida alcohólica tipo aperitivo por fermentación de plátano maduro. Cenicafé 53(3): 239-251.2002.

Se estudió la factibilidad técnica de utilizar plátano maduro como materia prima para la obtención de etanol y de una bebida alcohólica tipo "aperitivo". Para obtener etanol se utilizaron dos preparaciones de plátano: Pulpa sola (P) y pulpa más cáscara, previamente filtrada (P+C). El proceso se dividió en dos etapas: hidrólisis enzimática del almidón y fermentación. En la primera, los resultados no mostraron incremento de la concentración de azúcares reductores totales después de la hidrólisis. En la fermentación se ensayaron tres concentraciones de levadura y nueve tiempos de fermentación, para seleccionar las condiciones en las cuales se obtiene la mayor producción de etanol. Se seleccionó la concentración de levadura de 2,5% p/v y tiempo de 17 horas para P y 5 horas para P+C. Para la bebida alcohólica se utilizó pulpa de plátano y se determinó la influencia de la agitación en la producción de etanol. Se seleccionó la agitación manual y con ésta, se determinó el efecto de la concentración de °Brix en la muestra inicial. La mayor producción de etanol se obtuvo a partir de una concentración de 20°Brix. Por último se evaluaron tres concentraciones iniciales de levadura pero no se encontró efecto en la producción de etanol, seleccionándose la menor concentración evaluada. Se demostró que es posible obtener etanol y un aperitivo no vínico.

Palabras claves: Subproductos, plátano, industrialización, fermentación, etanol, aperitivo.

ABSTRACT

The technical feasibility of using ripe plantain by-product as raw material for obtaining ethanol as well as an appetizer-type alcoholic drink was studied. For obtaining ethanol two plantain preparations were used: pulp (P) and pulp plus previously filtered peeling (P+P). The process was divided into two stages: starch enzymatic hydrolysis and fermentation. In the first stage the results did not show increment in the concentration of total reducer sugars after the hydrolysis. In the fermentation, three yeast concentrations and nine fermentation times were tried, to select the conditions in which the greatest ethanol production is obtained. The concentration of yeast of 2,5% p/v and a time of 17 hours for P and 5 hours for P+C was selected. For the alcoholic drink, plantain pulp was used and the influence of the agitation was determined in the production of ethanol. The manual agitation was selected and, with this, the effect of °Brix concentration was determined in the initial sample. The biggest production of ethanol was obtained in a concentration of 20 °Brix. Finally, three initial concentrations of yeast were evaluated. The variance analysis did not show any effect on the ethanol production and therefore the least evaluated concentration was selected. From the technical point of view it is possible to obtain ethanol and a non-wine-like appetizer from the ripe plantain fermentation.

Keywords: By-products, plantain, industrialization, fermentation, ethanol, appetizer.

* Bacterióloga, especialista en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Becaria Colciencias. Programa Industrialización. Centro Nacional de Investigaciones de Café. Cenicafé, Chinchiná, Caldas, Colombia.
** Investigador Científico II. Programa de Industrialización, hasta marzo de 2001. Centro Nacional de Investigaciones de Café. Cenicafé, Chinchiná, Caldas, Colombia.
*** Ingeniero Químico, M.Sc. Profesor Asociado Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

El plátano es un producto insustituible en la dieta del pueblo colombiano, especialmente en la zona rural donde el consumo es alto; es material muy utilizado en la alimentación animal, complemento muy valioso de la industria cafetera por los ingresos adicionales y permanentes que genera y además, se ha convertido en un producto de exportación de gran demanda (8). En Colombia su importancia es tal que se ha colocado en tercer lugar después del café y del arroz, en cuanto al valor de la producción e igualmente con el café y el maíz, es el cultivo que mayor porcentaje de mano de obra requiere (1).

El consumo *per cápita* de plátano fresco en el país para el año 1998 fue de 61,9kg/año, y para plátano procesado de 0,03kg/año (4). Sin embargo, en la zona central cafetera el consumo en este mismo año fue de 80kg/año (13).

La industrialización del plátano es casi inexistente; a pesar de esto, tiene un alto potencial por la disponibilidad permanente y el bajo precio de la materia prima (17). El plátano maduro generalmente se consume frito, en tajadas, asado y combinado con otros productos, para elaborar platos típicos; ocasionalmente se hacen bebidas de plátano (8, 11). El procesamiento industrial produce grandes pérdidas por la excesiva maduración del producto; por esta razón se hace necesario buscar alternativas dentro de los propósitos de diversificación agrícola en la zona, que permitan contribuir al desarrollo de la industria ofreciendo posibilidades de utilización de estas unidades excesivamente maduras.

El plátano, es un producto rico en carbohidratos los cuales pueden ser transformados industrialmente por microorganismos de metabolismo anaerobio para producir etanol, ácido láctico, etc. (12). Se buscó en esta investigación la utilización del plátano maduro como materia prima en la obtención de etanol

y una bebida alcohólica, mediante la transformación de los azúcares en alcohol.

Champion (3), registra que hace muchos años se fabrica una cerveza con bananos de variedades aptas para este uso y como ejemplo cita el trabajo realizado por Scott en 1957, que describe la fabricación del “pombe” en el África intertropical, en donde el consumo es muy importante; para ello, los frutos pelados y cubiertos con hierbas se presnan y el zumo pasa por canales formados por pecíolos de banano hasta un recipiente situando en la parte inferior. El zumo se transvasa a una cuba de madera y se pone a fermentar con un resto de cerveza previamente fabricada. Se cubre la cuba con hojas de banano y la bebida queda lista al día siguiente (3).

En Uganda existen diferentes métodos de procesamiento de bebidas de banano; sin embargo, es poco lo que se encuentra registrado en la literatura debido a que son técnicas de tradición familiar, lo cual además, induce a que los productos presenten una calidad variable y una corta vida de almacenamiento; por ejemplo, el jugo de banano tiene una duración de un día y la cerveza sólo permanece palatable por cinco días. La primera etapa en la producción de estas bebidas es la obtención del jugo el cual tiene diferentes usos: puede venderse como una bebida mineral o fermentarse para hacer cerveza de banano conocida como “ton-to”, que a su vez, puede destilarse para obtener ginebra llamada “waragi” (19).

Canoso (2) en 1994, encontró que a excepción de las uvas, las demás frutas no contienen un porcentaje de azúcar suficiente para producir un buen vino y deben mejorarse mediante adición de azúcar. Sin embargo, Paul y Ogazi (14) afirman que la pulpa de plátano maduro contiene suficiente cantidad de azúcares fermentables los cuales permiten la producción de bebidas alcohólicas como cervezas y vinos. La cerveza y el vino pueden

almacenarse por un tiempo (añejarse), de modo que su contenido alcohólico puede incrementarse antes de su destilación para producción de ginebra, si es necesario.

Trabajos realizados en Nigeria por los mismos autores (14), concluyeron que la bebida alcohólica obtenida por la fermentación de plátano maduro se puede clasificar como cerveza por su contenido de alcohol; sin embargo, la gravedad específica la ubica en el grupo de los vinos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. La investigación se realizó en Chinchiná, en el Centro Nacional de Investigaciones de Café – Cenicafé, en la planta piloto de física del programa de Industrialización.

Materia prima. Se utilizó plátano maduro, variedad Dominico hartón.

Metodología. En esta investigación se obtuvieron dos productos: etanol y una bebida alcohólica

Obtención de etanol. Este proceso se dividió en dos etapas: Hidrólisis del almidón y Fermentación.

Para la obtención de etanol se utilizaron dos tipos de material provenientes de dos preparaciones de plátano: pulpa sola (P) y pulpa más cáscara previamente filtrada (P+C). Para los dos tipos de materiales se obtuvo el mosto pelando y cortando en tajadas la cantidad de plátanos maduros necesarios para obtener 700 mililitros de muestra, correspondientes a la unidad experimental. El mosto tenía una concentración de sólidos solubles entre 10 y 12° Brix. Para ello se licuaron los plátanos adicionando pequeñas cantidades de agua hasta alcanzar la concentración de °Brix requerida; la mezcla de plátano y agua constituye el mosto.

Es importante aclarar que la concentración de azúcares reductores totales (ART), que se obtuvo durante el proceso de hidrólisis estuvo relacionada, tanto con la concentración de ART provenientes de la hidrólisis, como con la concentración inicial de azúcares presentes en el plátano que dependen del grado de madurez del mismo.

Etapa I: Hidrólisis del almidón. Este proceso se realizó a pH constante de 4,3 utilizando la enzima AMYLASE AG 200/300 L, de la casa comercial NOVO NORDISK, correspondiente a una glucoamilasa. Para la determinación de la cantidad de azúcar obtenido se trabajó con la técnica de azúcares reductores de Lane y Eynon descrita por Pearson (15).

Con el fin de determinar las condiciones en las cuales se obtenía la mayor concentración de azúcares se evaluaron tres temperaturas de hidrólisis (tratamientos): 75, 60 y 29°C. Para esta última se realizó un calentamiento previo de las muestras entre 60 y 65°C, con el fin de lograr un hinchamiento de los gránulos de almidón. Posteriormente, las muestras se dejaron enfriar por convección natural hasta alcanzar la temperatura ambiente.

A la muestra inicial, (sin tratamiento), se le determinó la concentración de ART. Posteriormente se evaluó la concentración de azúcares obtenida en cuatro tiempos después de iniciado el proceso de hidrólisis así: 1, 2, 4 y 8 horas. Se realizaron 5 repeticiones para cada temperatura, con cada tipo de material (P y P+C), en cada tiempo. La concentración de la enzima utilizada para esta evaluación fue de 200ppm. Se tomó como variable de respuesta la ganancia en azúcares reductores totales en cada uno de los tiempos evaluados. Esta ganancia se obtuvo como la diferencia entre los ART al finalizar cada tiempo menos los ART de la muestra inicial, con respecto a los ART de la muestra inicial, multiplicado por 100. Con esta variable y para cada material se evaluó el efecto

de las temperaturas con un análisis de varianza de una vía al nivel del 5%.

Etapa II: Fermentación. Se realizó la fermentación con los dos tipos de material (P y P+C) a 32°C y a pH de 4,3, utilizando levadura fresca *Saccharomyces cerevisiae* de la compañía Fleischmann. El volumen de muestra que se fermentó fue de 700ml. Se utilizó antiespumante al 0,1% (v/v). La fermentación se realizó durante 15 horas, tiempo promedio de las fermentaciones alcohólicas, con agitación constante a 100rpm.

Se evaluaron tres concentraciones de levadura en el proceso de fermentación para cada tipo de material: 5, 2,5 y 10% (p/v). Finalizada la fermentación se filtró el producto obtenido y se tomaron 100 mililitros del líquido para su destilación. La destilación se realizó en un equipo con columna de Vigreux, utilizando metanol grado industrial como refrigerante. Al producto obtenido se le determinó el índice de refracción. Posteriormente, se realizó la determinación de la concentración de etanol por interpolación en una curva patrón. La determinación del porcentaje de etanol puro obtenido se realizó a partir del volumen de destilado y su contenido de etanol.

El efecto de la concentración de levadura para cada material se evaluó con un análisis de varianza de una vía al nivel del 5%. Con la concentración de levadura seleccionada se realizó la determinación del tiempo de fermentación, para lo cual se evaluaron 9 tiempos: 5, 8, 10, 12, 14, 15, 17, 19 y 20 horas, por cada tipo de material. Como variable de respuesta se tuvo la concentración de etanol que se determinó como se describió anteriormente, para seleccionar el tiempo en el cual se alcanzó la máxima producción.

El comportamiento de la producción de etanol a través del tiempo para cada material se evaluó

con análisis de varianza de una vía, con las componentes lineal y cuadrática, al nivel del 5%.

Una vez determinado el tiempo en el cual se obtuvo la mayor producción de etanol se procedió a evaluar el comportamiento de éste al adicionar levadura, tomando 5 repeticiones por cada tipo de material (P y P+C) y determinando el porcentaje de etanol al iniciar el proceso de fermentación, lo que se denominó como tiempo cero. Posteriormente, para ambos materiales se adicionó la levadura a una concentración de 2,5% (p/v) y se realizó la fermentación de acuerdo con las condiciones seleccionadas para cada material. La comparación de la producción de etanol en el tiempo cero con la producción de etanol una vez ocurrida la fermentación se realizó con la prueba de diferencia mínima al nivel del 5%, con el propósito de comprobar si la adición de levadura aumentaba el porcentaje de etanol.

Obtención de una bebida alcohólica. Se utilizó pulpa de plátano. La unidad experimental estuvo conformada por 2 litros de mosto con una concentración entre 10 y 11°Brix. Para ello se licuó con agua la cantidad de pulpa de plátano maduro necesaria para alcanzar este valor. Se llevó el pH a 4,3, la temperatura a 32°C, aproximadamente y se adicionó levadura al 5% (p/v).

Con el fin de determinar las condiciones en las cuales se obtenía la mayor producción de etanol (%p/v), se determinó la influencia de la agitación en el proceso de fermentación. Para ello se tomó como primer tratamiento la agitación mecánica a 100rpm, durante todo el tiempo de fermentación. El segundo tratamiento correspondió a fermentación en botellones plásticos, provistos de un dispositivo que permitía la salida de gas. Estos botellones se agitaron manualmente, mínimo seis veces al día. El seguimiento de la fermentación se realizó tomando 300 mililitros de muestra a las 15, 24,

36 y 48 horas, después de adicionada la levadura; la muestra se filtró y al líquido obtenido se le determinaron el pH, la acidez, la densidad y el porcentaje de etanol por refractometría. El volumen de muestra restante se envasó en frascos de vidrio con tapa, previamente esterilizados, y se almacenó en nevera, realizando trasiegos o separaciones de sobrenadante cada vez que se observaba formación de sedimento.

Se hicieron 5 repeticiones por tratamiento. El efecto de la agitación se evaluó en cada tiempo bajo un análisis de varianza de una vía y para la comparación de promedios se utilizó la prueba de diferencia mínima al nivel del 5%.

Una vez seleccionado el tratamiento con el cual se obtuvo la mayor producción de etanol, se determinó la influencia de la concentración de sólidos solubles ($^{\circ}$ Brix), en la muestra inicial. Para ello se evaluaron dos concentraciones, la primera entre 11,4 y 11,7 $^{\circ}$ Brix, para lo cual se licuó con agua la cantidad de pulpa de plátano maduro necesaria para alcanzar estos valores.

La segunda concentración estuvo entre 20 y 20,6 $^{\circ}$ Brix. Cabe resaltar que, debido a las características de la muestra no fue posible obtener esta concentración utilizando únicamente pulpa y agua; por esta razón se utilizó una relación pulpa - agua de 1 a 1 (correspondiente a $^{\circ}$ Brix entre 11,1 y 12,1) y se adicionó azúcar común hasta alcanzar los $^{\circ}$ Brix requeridos.

Las muestras se llevaron a pH de 4,3 y a 32 $^{\circ}$ C aproximadamente y se adicionó levadura al 5% (p/v). El seguimiento de la fermentación se llevó a cabo como se describió en la obtención de etanol. La evaluación de las dos concentraciones de $^{\circ}$ Brix se realizó a las 15, 24, 36 y 48 horas.

La evaluación del efecto de las concentraciones de sólidos solubles se realizó bajo un

análisis de varianza de una vía y para la comparación de promedios se utilizó la prueba de diferencia mínima al nivel del 5%.

Con el mejor método de agitación y la mejor concentración de sólidos solubles ($^{\circ}$ Brix) en la muestra inicial, se procedió a evaluar tres concentraciones de levadura (p/v) 5; 2,5 y 7,5%, con el propósito de seleccionar la que mayor porcentaje de etanol (p/v) produjera. El procedimiento experimental fue el mismo que en las fases anteriores.

Con la selección del mejor método de agitación, la mejor concentración de sólidos solubles en la muestra inicial y la mejor concentración de levadura, se obtuvieron las condiciones bajo las cuales se alcanza la mayor producción de etanol.

Clasificación de la bebida alcohólica obtenida.

Teniendo en cuenta recomendaciones de la literatura (14), se procedió a clasificar inicialmente el producto obtenido en este trabajo según el porcentaje de alcohol, así: **Vino** 10 – 18%; y **Cerveza** 3-7%

Análisis adicionales. Para cada uno de los tratamientos evaluados en la bebida alcohólica se tomó al azar una muestra de las cinco repeticiones que se tenían al momento de aplicar los tratamientos, se pasteurizaron a 60 $^{\circ}$ C por 25 minutos y se les volvió a determinar el pH, la acidez y la densidad luego del almacenamiento a 4 $^{\circ}$ C por dos meses, con el propósito de evaluar descriptivamente la variación de estas características durante el tiempo de almacenamiento. Adicionalmente se compararon descriptivamente los valores obtenidos con los reportados por algunos autores para clasificación de la bebida y con los presentados por productos análogos que se encuentran en el mercado. A estas muestras también se les realizó un análisis microbiológico para determinar la presencia o ausencia de mesófilos aerobios en el medio de cultivo Plate Count

Agar; hongos y levaduras en medio de cultivo YGC y bacterias acéticas, utilizando dos medios de cultivo: Acetobacter y solución de Hoyer's.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Obtención de etanol. Etapa I: Hidrólisis del almidón. En las Tablas 1 y 2 se muestra el comportamiento del promedio y variación de la concentración de ART (% p/v), a través del tiempo de hidrólisis enzimática del almidón en las diferentes temperaturas (29, 60 y 75°C), en los materiales evaluados (P y P+C).

El análisis de varianza no mostró efecto de las temperaturas en ninguno de los materiales ni en ninguno de los tiempos evaluados, para la variable ganancia de ART (%p/v), lo cual indica que no es necesario realizar una hidrólisis enzimática previa del almidón.

Etapa II: Fermentación. Concentración de levadura: En la Tabla 3 se muestra el promedio y el coeficiente de variación para cada material en las diferentes concentraciones iniciales de levadura evaluadas (2,5; 5,0 y 10%). El análisis de varianza no mostró efecto de la concentración de levadura en el rango ensayado en ninguno de los dos materiales, para la variable rendimiento de etanol. Por esta razón se seleccionó la concentración de 2,5% (p/v) de levadura, para realizar las siguientes evaluaciones.

Tiempo de fermentación. En la Tabla 4 se presenta el promedio de etanol puro y la variación para los dos tipos de material (P y P+C), en cada uno de los tiempos de fermentación evaluados. El análisis de varianza en el material filtrado de P+C no mostró efecto del tiempo de fermentación en la producción de etanol, mientras que con pulpa si hubo efecto del tiempo en la componente cuadrática.

Tabla 1. Promedio y variación de la concentración de azúcares reductores totales (% p/v) en pulpa de plátano (P) en la temperatura y tiempos evaluados

Tiempo (h)	29 °C		60 °C		75 °C	
	\bar{X}	CV	\bar{X}	CV	\bar{X}	CV
0	9,194	5,78	9,194	5,78	9,544	5,43
1	10,136	5,13	10,388	5,42	10,5	6,78
2	10,448	6,83	10,658	7,20	10,638	6,22
4	10,512	6,93	10,822	6,74	10,738	5,48
8	10,446	6,33	10,88	6,18	10,524	4,89

Tabla 2. Promedio y variación de la concentración de azúcares reductores totales (porcentaje p/v) en filtrado de pulpa más cáscara (P+C) en la temperatura y tiempos evaluados

Tiempo (h)	29 °C		60 °C		75 °C	
	\bar{X}	CV	\bar{X}	CV	\bar{X}	CV
0	7,108	6,36	7,108	6,36	8,464	2,71
1	8,962	5,74	8,652	5,79	9,924	0,77
2	9,282	1,91	9,298	9,68	9,918	1,21
4	9,66	5,51	9,392	8,46	10,234	1,68
8	9,24	3,88	9,224	4,95	10,086	1,16

Tabla 3. Promedio y variación de la producción de etanol puro (% v/v) utilizando tres concentraciones de levadura

Concentración de levadura	Pulpa (P) (% p/v)		Filtrado (P+C)	
	\bar{X}	CV	\bar{X}	CV
2,5	4,202	1,96	4,242	4,37
5,0	4,124	1,79	4,108	1,84
10	4,1	1,94	4,076	3,62

Tabla 4. Producción promedio y variación de etanol puro (%v/v) en diferentes tiempos de fermentación

Tiempo fermentación (H)	Pulpa (P)		Filtrado (P+C)	
	\bar{X}	CV	\bar{X}	CV
5	4,52	7,37	3,83	10,47
8	5,47	3,56	3,58	10,52
10	5,42	3,86	3,80	8,14
12	5,53	2,70	3,68	7,55
14	5,49	2,98	3,64	7,90
15	5,55	3,32	3,71	9,44
17	5,76	1,66	3,86	5,67
19	5,63	2,12	3,85	2,00
20	5,68	1,71	4,03	5,87

Por tanto, para P+C se tomó el tiempo 5 horas para dar por terminada la fermentación y para el material pulpa se escogieron 17 horas, tiempo en el cual se alcanzó la mayor producción de etanol desde el punto de vista estadístico.

En general, se encontró una mayor producción de etanol cuando se utilizó pulpa en lugar de filtrado de P+C; sin embargo, no se descartó la muestra filtrada puesto que esta incluye la cáscara, lo que representa un mejor aprovechamiento de la materia prima así como una disminución en la cantidad de residuos generados en el proceso. Observaciones adicionales permitieron determinar que por cada 100 gramos de pulpa más cáscara utilizados en el proceso se obtienen 28 gramos de residuos después del filtrado; éstos a su vez se reducen a 5 gramos aproximadamente, después de un proceso de secado. Por el contrario, cuando se utilizaron 100 gramos de muestra de pulpa los residuos generados correspondientes a la

cáscara fueron de 37 gramos, aproximadamente.

Finalmente se puede decir que es posible obtener etanol por fermentación de plátano maduro sin realizar previamente un proceso de hidrólisis de almidón.

Adición de levadura. En la Tabla 5 se ilustra el porcentaje medio de etanol puro en muestras sin levadura y en muestras con adición de levadura. Las muestras de pulpa (P), fueron evaluadas a las 17 horas y las de P+C a las 5 horas, de acuerdo con los tiempos seleccionados. El análisis de varianza mostró efecto a favor de la adición de levadura en los dos materiales evaluados, corroborada con la prueba de comparación.

Bebida alcohólica. Influencia de la agitación. En la Tabla 6 se presentan la producción media de etanol y la variación para una bebida alco-

Tabla 5. Incremento y variación de la producción de etanol puro después de adicionar levadura

Adición de levadura	Pulpa (P)		Adición de levadura	Filtrado (P+C)	
	Etanol puro (% v/v)			Etanol puro (% v/v)	
	\bar{X}	CV		\bar{X}	CV
NO	0,16200	39,86	NO	0,1080	12,07
SI (17 h)	5,22400	2,10	SI (5 h)	4,3600	6,73

Tabla 6. Promedio y variación de la producción de etanol (%v/v) para una bebida alcohólica, según el tipo de agitación de la muestra en cuatro tiempos evaluados

Tiempo (h)	Agitación manual		Agitación mecánica	
	\bar{X}	C.V	\bar{X}	C.V
15	3,5660 a*	27,33	3,9225 a	4,98
24	3,8580 a	9,58	3,7260 a	4,24
36	3,9800 a	10,71	3,3080 b	13,08
48	3,7900 a	6,31	2,7820 b	14,87

*Letras diferentes en la misma fila corresponden a diferencias estadísticas significativas, según prueba t al 5%.

hólica con los dos métodos de agitación en los cuatro tiempos evaluados. El análisis de varianza no mostró efecto de los métodos de agitación en los tiempos 15 y 24 horas. Para los tiempos 36 y 48 horas si hubo efecto y la prueba de comparación lo corroboró a favor de la agitación manual, para la producción de etanol.

El comportamiento a través del tiempo en la agitación mecánica fue lineal negativo, es decir, a mayor tiempo menor producción de etanol, mientras que en el método manual no tuvo comportamiento lineal.

Ante estos resultados se escogió la agitación manual por ser más estable a través del tiempo y por presentar mayor producción a 36 y 48 horas con respecto a la agitación mecánica. Adicionalmente, desde el punto de vista operativo corresponde a un proceso más sencillo.

Concentración de sólidos solubles iniciales (°Brix). En la Tabla 7 se presenta la producción de etanol para una bebida alcohólica a

partir de dos concentraciones de sólidos solubles iniciales, en diferentes tiempos evaluados. En cada tiempo de evaluación el análisis de varianza mostró efecto de las concentraciones y la prueba de comparación mostró diferencias a favor de 20°Brix para la producción de etanol.

En cada una de las concentraciones evaluadas, el comportamiento de la producción de etanol fue constante y de acuerdo con estos resultados se escogió como concentración de sólidos solubles iniciales 20°Brix y un tiempo de 15 horas de fermentación.

Concentración de levadura. En la Tabla 8 se presenta la producción media de etanol y el coeficiente de variación en las tres concentraciones de levadura evaluadas. El análisis de varianza no mostró efecto de la concentraciónF inicial de levadura en la producción de etanol; por tanto, fue seleccionada la concentración de 2,5% (p/v).

Clasificación de la bebida alcohólica obtenida. Los resultados de la Tabla 8 muestran que el porcentaje promedio de etanol obtenido en la

Tabla 7. Producción promedio de etanol (% v/v) y variación para una bebida alcohólica, a partir de dos concentraciones iniciales diferentes de sólidos solubles en cuatro tiempos

Tiempo (h)	11 ° Brix		20 ° Brix	
	\bar{X}	CV	\bar{X}	CV
15	5,2920 ¹ b*	4,04	10,6540 a	4,74
24	5,2740 b	7,33	10,7540 a	2,99
36	5,5520 b	13,40	10,7240 a	5,01
48	4,7000 b	17,10	10,7960 a	6,20

¹ = Etanol puro (% v/v). Nota: Letras diferentes en la misma fila corresponden a diferencias estadísticas significativas, según prueba t al 5%.

Tabla 8. Producción promedio y variación de etanol puro (% v/v) para una bebida alcohólica, utilizando tres concentraciones iniciales de levadura

Concentración de levadura		Etanol puro (% v/v)
\bar{X}	CV	
2,5	10,94	4,36
5,0	11,24	1,74
7,5	11,20	2,38

bebida alcohólica permite clasificarla inicialmente dentro del grupo de los vinos. Sin embargo, se debe tener en cuenta que el término “Vino” es específico para productos obtenidos por fermentación de uva. Según la Norma Técnica Colombiana 1245, para bebidas alcohólicas, el producto que se obtuvo por fermentación de plátano maduro debe denominarse “Aperitivo no vínico”.

Adicionalmente, esta norma permite hacer una clasificación de los aperitivos con la cual se denominó el producto obtenido en este trabajo como “APERITIVO NO VÍNICO AROMATIZADO O SABORIZADO”.

Análisis adicionales. pH, densidad y acidez.

Los resultados de la Tabla 9 no muestran variaciones para estas tres variables durante el tiempo de almacenamiento. La literatura registra variaciones en los valores estándares para pH, acidez y densidad en productos terminados. Díaz (5), encontró que el rango de pH para el

vino está entre 3,0 y 3,5. Frazier y Westhoff (6), reportan que algunos vinos de mesa tienen un pH entre 3,5 y 4,0. El rango de pH en el cual oscilaron todas las muestras evaluadas estuvo entre 4,05 y 4,38 (Tabla 9). Vale la pena aclarar que el papel fundamental del pH es inhibir el crecimiento de microorganismos que deterioran la calidad; sin embargo, Frazier y Westhoff (7), afirman que el pH normal del vino no detiene el crecimiento de mohos, levaduras o bacterias acéticas; así mismo registran que las bacterias lácticas toleran valores de pH más bajos que el de la mayoría de los vinos.

Para la densidad, Ramírez (16) encontró un rango entre 0,9 y 1,05g/ml. Todas las muestras evaluadas cumplieron con este requisito puesto que presentaron valores entre 0,99 y 1,01g/ml. Díaz (4), registra un rango de acidez para vinos entre 0,053 y 0,0799N. Por el contrario, Ramírez (16), establece la acidez normal de un vino como 0,107N. Las muestras evaluadas presentaron una gran variación en la acidez total, con un rango entre 0,07 y 0,17N (Tabla 9).

Se evaluaron siete muestras en el mercado, entre vinos y aperitivos. Con los resultados de la evaluación de estas siete muestras se construyó un intervalo de productos en el mercado, como lo muestra la Tabla 10, y se determinó si los valores de pH, acidez y densidad de las muestras evaluadas después de

Tabla 9. Valores de pH, densidad y acidez, finalizada la fermentación y después de un período de dos meses de almacenamiento a 4°C

Muestra		pH		Densidad G/MI		Acidez (N)	
		Inicial ¹	Final ²	Inicial	Final	Inicial	Final
Agitación manual	15 H	4,2	4,16	1,00	1,01	0,09	0,09
	24 H	4,1	4,12	1,01	1,00	0,12	0,13
	36 H	4,09	4,12	1,00	1,00	0,13	0,15
	48 H	4,08	4,12	1,00	1,01	0,15	0,15
Agitación mecánica	15 H	4,18	4,17	1,01	1,00	0,13	0,13
	24 H	4,2	4,24	1,01	1,00	0,13	0,13
	36 H	4,12	4,22	1,01	1,01	0,15	0,16
	48 H	4,12	4,2	1,01	1,01	0,17	0,17
11 ° Brix	15 H	4,2	4,28	1,00	1,00	0,07	0,07
	24 H	4,13	4,21	1,00	1,00	0,08	0,08
	36 H	4,07	4,11	1,00	1,00	0,09	0,10
	48 H	4,05	4,16	1,00	1,00	0,09	0,10
20 ° Brix	15 H	4,12	4,2	0,99	1,00	0,08	0,08
	24 H	4,14	4,21	0,99	1,00	0,08	0,08
	36 H	4,21	4,31	0,99	1,00	0,08	0,08
	48 H	4,28	4,38	1,00	1,00	0,08	0,08
Concentración de levadura	2.5%	4,2	4,27	1,00	1,00	0,08	0,09
	5.0%	4,22	4,29	0,99	1,00	0,08	0,08
	7.5%	4,34	4,27	0,99	1,00	0,08	0,07

¹ Inicial: corresponde al análisis realizado una vez finalizado el proceso de fermentación.

² Final: análisis realizado después de varias semanas de almacenamiento en nevera y luego de la pasteurización.

Tabla 10. Intervalo realizado con siete productos del mercado

Variable	Promedio	DF	Nivel	Límite inferior	Límite superior
pH	3,16714	6	95	2,95271	3,38157
Acidez (N)	0,05628	6	95	0,04332	0,06924
Densidad (g/ml)	1,01075	6	95	0,99791	1,02359

pasteurizadas (Tabla 9), se encontraban dentro de este intervalo. Los resultados para pH, mostraron que las muestras evaluadas siempre presentaron valores superiores a los del intervalo. En cuanto a la densidad todas las muestras estuvieron dentro del rango. Para la aci-

dez, solamente dos de las muestras se ubicaron en el límite superior del intervalo.

Lo anterior permite concluir que la bebida alcohólica obtenida de la fermentación de plátano maduro cumple con el requisito de densidad

reportado en la literatura para el grupo de los vinos y, adicionalmente, está de acuerdo con lo encontrado en algunas muestras del mercado. Por el contrario, el pH no cumple con los valores establecidos, ni está de acuerdo con lo presentado por algunas muestras del mercado. Para la acidez se encontró que 12 de las 19 muestras evaluadas presentaron valores inferiores a 0,107N; sin embargo, en la comparación realizada con los productos del mercado solamente dos muestras se encontraron dentro del intervalo. Cabe resaltar que los valores que se encuentran reportados en la literatura para acidez no son precisos, por tanto, no es posible concluir acerca del comportamiento de las muestras en esta variable.

Análisis microbiológico. El análisis de las muestras no mostró crecimiento de hongos, levaduras ni bacterias acéticas. Por el contrario, la Tabla 11 muestra que en el medio de cultivo Plate Count Agar, se encontró en 9 de las 19 muestras evaluadas, presencia de bacilos Gram (+) largos, en algunas ocasiones organizados en cadenas largas, lo cual puede sugerir presencia de microorganismos del género *Lactobacillus*. Este género de microorganismos se ha registrado comúnmente en la literatura, ocasionando alteraciones del vino que se caracterizan básicamente por turbidez de las muestras, aumento de la acidez y alteraciones del sabor y el olor (6, 7, 10). Así mismo, se encontró en 10 de las 19 muestras evaluadas

Tabla 11. Descripción de los microorganismos encontrados en el análisis microbiológico

Muestra		Crecimiento de microorganismos en medio plate count agar		
		Bacilos largos Gram (+)	Bacilos gram (+) largos con endosporas terminales	Cocos Gram (+)
Agitación manual	15 H	+	-	-
	24 H	+	+	-
	36 H	+	+	-
	48 H	+	+	-
Agitación mecánica	15 H	+	-	+
	24 H	-	+	-
	36 H	-	-	-
	48 H	-	-	-
11 ° Brix	15 H	-	-	-
	24 H	-	-	-
	36 H	-	-	-
	48 H	-	-	-
20 ° Brix	15 H	+	+	-
	24 H	+	+	+
	36 H	+	-	-
	48 H	+	+	-
Concentración de levadura	2,5%	-	+	-
	5,0%	-	+	-
	7,5%	-	+	-

+ = presencia

- = ausencia

presencia de bacilos Gram (+) con endosporas terminales, lo cual puede sugerir presencia de microorganismos del género *Bacillus*, que pueden ocasionar aumento de la acidez y producción de gas (7, 10). En dos de las muestras se encontró presencia de cocos Gram (+).

La presencia de estos microorganismos puede atribuirse a los altos valores de pH encontrados en las muestras y sugiere que el proceso de pasteurización (60°C x 25 minutos) realizado, no fue suficiente para destruirlos; así mismo, permite explicar la presencia de turbidez presentada por algunas muestras, inclusive después de realizada la pasteurización. Adicionalmente, podría atribuírsele a la presencia de estos microorganismos el incremento de la acidez que se reflejó en valores de normalidad más altos para las muestras evaluadas, en comparación con lo encontrado en la literatura y en los productos del mercado.

Durante la realización de este trabajo se observó que factores como la madurez de la muestra empleada y el grado de homogeneidad de la misma juegan un papel muy importante en el proceso de obtención de etanol, presentándose una relación directa entre éstos; así, a mayor grado de madurez de la muestra mayor producción de etanol. En efecto, este resultado pudo verificarse al incrementar la concentración de grados brix de la muestra inicial en el proceso de obtención de la bebida alcohólica y puede explicarse por el fenómeno de transformación del almidón en azúcares que ocurre durante la maduración (3, 18). Lo anterior, representa una gran ventaja puesto que permite utilizar el plátano cuando éste tiene un alto grado de madurez, condición que se constituye en la causa de rechazo en las industrias procesadoras.

Se demostró que desde el punto de vista técnico es posible obtener etanol a partir de la fermentación de plátano maduro, encontrán-

dose una posibilidad de agregarle valor a este producto que generalmente se desecha en los procesos industriales cuando presenta un grado avanzado de madurez.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la Dra. Esther Cecilia Montoya R. asesora estadística de este trabajo, por su valiosa contribución en el desarrollo del experimento. A Luis Eduardo García y a los auxiliares de la planta piloto de física del programa de Industrialización, por toda su colaboración durante las evaluaciones.

LITERATURA CITADA

1. ARBELÁEZ, J. D. Situación e importancia socioeconómica del cultivo del plátano en Colombia. *In: Seminario Internacional sobre Plátano*, 1. Manizales, Junio 6-10, 1983. Memorias. Manizales, Universidad de Caldas, 1983. p. 253-261.
2. CANOSO, A. Guías prácticas de ingeniería de alimentos. Bogotá, Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Ingeniería de Alimentos, 1994. 24 p. (Guías para las prácticas de laboratorio de Microbiología Industrial).
3. CHAMPION, J. El plátano. Barcelona, Blume, 1968. 247 p.
4. CORPORACIÓN COLOMBIA INTERNACIONAL. CCI. BOGOTÁ. Mercado Interno del Plátano. *Exótica* 3 (11): 4-7. 1999.
5. DÍAZ, H. E. Guías prácticas de microbiología industrial. Manizales, Universidad Católica de Manizales. Facultad de Bacteriología, 1993. 12 p. (Guías para las prácticas de laboratorio de Microbiología Industrial).
6. DUTEURTRE, B. Vinos. *In: BOURGEOIS, C. M.; LARPENT, J. P. Microbiología alimentaria*. Zaragoza, ACRIBIA, 1995. p. 91-109.

7. FRAZIER, W. C.; WESTHOFF, D. C. Microbiología de los alimentos. 4. ed. Zaragoza, Acribia, 1993. 681 p.
8. GUTIÉRREZ O., E. Industrialización del plátano con miras al mercado de Estados Unidos. *In: Seminario Nacional de Estrategias de Reingeniería en Sistemas Productivos de Plátano*. Manizales, Noviembre 2-4, 1994. Memorias. Manizales, Comité Departamental de Cafeteros de Caldas, 1994. p.v.
9. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO - ICA. BOGOTÁ. COLOMBIA. Plan nacional de investigaciones en plátano 1981 - 1986. Bogotá, Ministerio de Agricultura, 1982. 109 p.
10. JAY, J. M. Microbiología moderna de los alimentos. 3. ed. Zaragoza, Acribia, 1994. 804 p.
11. KETIKU, A. O. Chemical composition of unripe (green) and ripe plantain (*Musa paradisiaca*). *Journal Science Food Agriculture* 24: 703-707. 1973.
12. KIRK, R. E.; OTHMER, D. F. Encyclopedia of chemical technology. Vol. 9. 3. ed. New York, John Wiley & Sons. 1980. p. 861-880.
13. KYAMUHANGIRE, W.; AKED, J.; GENSI, R. The level and extent of banana beverage processing in Uganda. *MusÁfrica* 7:8-11. 1995
14. MERCHÁN V., V. M. Manejo de problemas fitosanitarios del cultivo del plátano en la zona central cafetera. *In: Seminario Internacional sobre Producción de Plátano*. Armenia, Mayo 4-8, 1998. Memorias. Armenia, CORPOICA – Universidad del Quindío – SENA – Comité de Cafeteros del Quindío, 1998. p. 177-191.
15. PAUL, P. R.; OGAZI, O. Miscellaneous products from plantain. *In: OGAZI, P. O. Plantain; production, processing and utilization*. Okigwe, Paman and Associates Limited, 1996. p. 249-281.
16. PEARSON, D. Técnicas de laboratorio para el análisis de alimentos. Zaragoza, Acribia, 1986. 331 p.
17. RAMÍREZ I. B. DE. Química analítica aplicada. Análisis de los alimentos. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, 1976. p. 52-88.
18. SOLEIBE, A. F. Situación actual y perspectivas del cultivo de plátano en la zona cafetera. *In: Seminario Nacional de Estrategias de Reingeniería en Sistemas Productivos de Plátano*. Manizales, Noviembre 2-4, 1994. Memorias. Manizales, Comité Departamental de Cafeteros de Caldas, 1994. p.v.
19. THOMPSON, A. K.; BURDEN, O. J. Harvesting and Fruit Care. *In: GOWEN, S. Bananas and plantains*. London, Chapman and Hall, 1995. p. 403-432.