

INVESTIGACION

Elaboración de un alimento con base en harina de banano (*Musa paradisiaca*) fortificada con hierro y zinc aminoquelados, calcio microencapsulado y folato

PERSPECTIVAS EN NUTRICIÓN HUMANA

ISSN 0124-4108

Escuela de Nutrición y Dietética, Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia

Vol. 14, N° 1, enero-junio de 2012, p. 47-57

Artículo recibido: 20 de octubre de 2011

Aprobado: 22 de febrero de 2012

Beatriz Estella López Marín¹; Luz Marina Carvajal de Pabón²

Resumen

Objetivo: elaborar un alimento enriquecido con hierro y zinc aminoquelados, calcio microencapsulado y folato para consumo humano. **Materiales y métodos:** se empleó banano de rechazo de la zona de Urabá (Antioquia-Colombia), maduro al 50%; goma arábica, maltodextrina, ácido cítrico y ascórbico, folato, calcio lácteo microencapsulado, zinc y hierro aminoquelados, sabor artificial, colorantes y conservantes. Se deshidrató mediante secado por aspersión. Se realizaron cinco ensayos de mezclas para someter a diferentes temperaturas de secado por aspersión, se obtuvieron cinco lotes de producto. Los lotes fueron sometidos a análisis bromatológicos, microbiológicos, microscopía óptica, pruebas de aceptabilidad y estudio *in vitro* de digestibilidad. **Resultados:** todos los lotes presentaron características sensoriales y bromatológicas muy similares, pero el mejor evaluado en la prueba de aceptabilidad fue el número cuatro, que correspondió al sometido a temperaturas de entrada y de salida con un rango de variación de 110°C, cuyo aporte nutricional está dentro de los rangos propuestos inicialmente; su sabor fue uno de los de mayor aceptación por los consumidores y la microcápsula presentaba mejor caracterización. **Conclusiones:** se obtuvo una harina suelta, de fácil dilución, enriquecida con micronutrientes y con un buen contenido de carbohidratos, leve sabor a banano, color amarillo claro, además se obtuvo una microesfera de calcio y un producto de buena aceptación para consumo inmediato.

Palabras clave: banano (*Musa paradisiaca*), alimentos fortificados, harinas, micronutrientes, hierro, zinc, calcio, ácido fólico.

1 Escuela de nutrición y Dietética, Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.

beatrizestella@gmail.com

2 Facultad de Química Farmacéutica, Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.

Como citar este artículo: López Marín BE, Carvajal de Pabón LM. Elaboración de un alimento con base en harina de banano (*Musa paradisiaca*) fortificada con hierro y zinc aminoquelados, calcio microencapsulado y folato. *Perspect Nutr Humana*. 2012;14: 47-57.

Development of a banana (*Musa paradisiaca*) flour-based food fortified with aminocheated iron and zinc, microencapsulated calcium and folate

Abstract

Objective: to develop a food enriched with aminocheated iron and zinc, micro-encapsulated calcium and folate for human consumption. **Materials an methods:** we used banana non optimal for exportation from Urabá (Antioquia-Colombia), 50% mature, arabic gum, maltodextrin, citric acid and ascorbic acid, microencapsulated milk calcium, aminocheated iron and zinc, artificial flavor, food colorants and preservatives. The product was dehydrated using a spray-drying process. Five samples of blends were subject to different temperatures by spray drying, obtaining five batches of product. The lots were subjected to bromatological and microbiology analysis, optical microscopy, acceptability testing and *in vitro* studies for digestibility. **Results:** all the batches had sensory and qualitative characteristics very similar, but the best item in the acceptability test was the number four, which corresponds to the one subjected to temperatures of input and output with a variation range of 110°C, which nutritional value is within originally proposed ranges, its flavor was one of the most widely accepted by consumers, and the microcapsule had better characterization. **Conclusions:** we obtained a loose flour product, easy to dilute, enriched with micronutrients and with a good carbohydrates content, mild banana flavor, and light yellow color. Additionally, we obtained a microsphere of calcium and a well accepted product for immediate consumption.

Key words: banana (*Musa paradisiaca*), food fortified, flour, micronutrients, iron, zinc, calcium, folic acid.

INTRODUCCIÓN

Las deficiencias de micronutrientes constituyen problemas de salud pública en gran parte de la población mundial, y Colombia no es la excepción. La última Encuesta Nacional de la Situación Nutricional en Colombia (ENSIN 2010) reveló que padecían anemia, uno de cada cuatro niños de 6 a 59 meses, 8% de los niños de 5 a 12 años, 11% de los jóvenes entre 13 y 17 años, y 7,6% de las mujeres en edad fértil. Esta condición de salud se relaciona con el deficiente consumo de hierro. Otro problema nutricional encontrado en la ENSIN 2010 fue la baja concentración sérica de zinc presente en uno de cada dos niños de 1 a 4 años. Aunque la ENSIN 2010 no reportó datos bioquímicos para evaluar el estado nutricional del folato, sí reveló que un porcentaje importante de la población colombiana

no incluye en su alimentación verduras (cocidas 22,6% y crudas 19,6%) ni frutas (en jugo 13,8% y enteras 31,7%), que son alimentos fuentes de ácido fólico (1), nutriente importante por participar en la síntesis de hemoglobina, el crecimiento y prevenir los defectos del tubo neural durante el embarazo (2).

Una de las alternativas para combatir la deficiencia de micronutrientes es la fortificación de alimentos, que consiste en agregar a un alimento utilizado como transportador, uno o más micronutrientes deficientes en una población; la adición no debe ser inferior al 10% de los requerimientos diarios de un individuo, ni superior al 100%, de acuerdo con la reglamentación expresada en la resolución 333 de 2011 del Ministerio de la Protección Social (3). En la actualidad se prefiere la multifortificación de alimentos, debido a que las poblaciones en riesgo de padecer deficiencias de nutrientes generalmente

presentan varias simultáneamente. Esto ha hecho que países como Chile, Argentina, Guatemala y Colombia empleen un solo alimento como transportador de varios micronutrientes, especialmente vitamina A, D, hierro, ácido fólico y zinc. Un ejemplo de esto se presenta en Chile, donde se ha enriquecido una leche con 10 mg de Fe, 5 mg de Zn, 0,5mg de Cu y 70 mg de ácido ascórbico/100 g (4).

En la multifortificación se pueden presentar interacciones entre los micronutrientes adicionados al alimento, que afecten su biodisponibilidad, definida como la proporción del nutriente proveniente de la dieta que es absorbido y utilizado por el organismo. La biodisponibilidad de hierro, zinc y calcio depende, en gran medida, de su solubilidad en el medio intestinal (5-6). Además de que entre algunos de estos minerales puede haber interacciones en el proceso absorbivo dependiendo de las cantidades presentes, por ejemplo, el hierro y el zinc pueden competir por el transportador de metales divalentes, (7) el calcio afecta el eflujo de hierro desde el enterocito a la circulación portal por un mecanismo no claro aún (8). Estos minerales pueden interactuar entre sí favoreciendo la precipitación en la luz intestinal por la formación de compuestos o quelatos (9) indisolubles y por lo tanto inabsorbibles, lo que favorece las pérdidas fecales de los micronutrientes, sin alcanzar el impacto esperado en la solución del problema nutricional (10). Por esto, la industria alimentaria está en una búsqueda continua para producir alimentos multifortificados de gran aceptación y bajo costo, que contengan los micronutrientes agregados en forma de compuestos químicos que eviten interacciones entre sí en el medio intestinal.

La microencapsulación y la aminoquelación de los minerales son estrategias promisorias para disminuir las interacciones antes mencionadas y favorecer la utilización de los micronutrientes. La aminoquelación consiste en obtener un compuesto formado por dos moléculas de glicina unidas a un catión de un mineral, que forman un compuesto heterocíclico con dos anillos y cuya estructura protege al mineral de los inhibi-

dores presentes en el alimento y de las interacciones a nivel intestinal (6,9). En Medellín existen industrias que distribuyen hierro y zinc aminoquelados usados en la fortificación de alimentos.

Otra forma de evitar las interacciones mencionadas en la multifortificación es la microencapsulación de minerales, propiciando la liberación lenta de los mismos en el tracto gastrointestinal. El proceso se define como el recubrimiento de sustancias, partículas sólidas o glóbulos líquidos, con materiales de distinta naturaleza, para dar lugar a partículas de tamaño micrométrico (<1 mm) (11). El producto resultante recibe la denominación de microcápsulas o microesferas, que presentan como característica común su tamaño de partícula, siempre inferior a 1 mm, pero pueden diferir en morfología y estructura interna. Se define como microcápsula toda partícula en cuyo interior, y de forma muy centrada, se tiene el principio activo rodeado del material de recubrimiento; posee una estructura morfológica compuesta por dos elementos claramente diferenciados, el núcleo activo y un delgado armazón polimérico que envuelve al primero (11). A diferencia de la microcápsula, en la micropartícula el principio activo se encuentra altamente disperso bajo la forma de diminutas moléculas, en el material de recubrimiento (12-13). La observación en el microscopio permite diferenciar si lo obtenido durante el proceso es una microesfera o una microcápsula (13). Actualmente la microencapsulación se aplica para preservar o proteger numerosos ingredientes comerciales (13-14).

La microencapsulación se consigue mediante el secado por aspersión (Spray drying) directamente durante la fortificación del alimento (15-17). El proceso consiste en introducir en una torre o cámara el alimento en forma de pequeñas gotas junto con aire caliente, que al hacer contacto pierden su humedad y se convierten en pequeñas partículas (18-19). El secado por aspersión tiene doble propósito microencapsular el calcio a la vez que se obtiene la harina.

El objetivo de este trabajo fue obtener un alimento a partir de banano (*Musa paradisiaca*) fortificado con

hierro y zinc aminoquelados, calcio microencapsulado y folato, con buena aceptación, que pueda ser utilizado por la población colombiana en la prevención de las deficiencias de los nutrientes en mención, empleando tecnología de punta, como es el secado por aspersión, con doble propósito: microencapsular el calcio y obtener la harina de banano.

MATERIALES Y MÉTODOS

El proceso de diseño y desarrollo del producto se llevó a cabo en tres etapas, la primera fue el desarrollo de la pulpa de banano antes de ser llevada al secado, la segunda fue la obtención de la harina fortificada y la tercera las pruebas de calidad para determinar que era un producto apto para su consumo y estaba cumpliendo con el objetivo propuesto.

Elaboración de la pulpa

Para la elaboración de la pulpa de banano se trabajó con bananos (*Musa paradisiaca*) de la zona del Urabá (Antioquia-Colombia), con 50% de madurez, a la que se agregó ácido cítrico, ácido ascórbico, benzoato de sodio, sorbato de potasio, maltodextrinas "MD" con un pH de 4 a 6,21% de equivalentes de dextrosa, una solubilidad de 99,7%, de color blanco y sin impurezas visibles al ojo humano. Igualmente, se adicionó goma arábiga con un contenido de material no soluble de 2%, cenizas totales de 4% y viscosidad >60 Cps. También se agregó calcio lácteo de Tecnas, producto homogéneo de partículas finas, color entre blanco y ligeramente amarillo, con un pH de 6 a 7,5 y un contenido de 25 mg de calcio por cada 100 g de mezcla. Este fue el mineral microencapsulado mediante el secado por aspersión.

Al final del secado se adicionaron el hierro y el zinc aminoquelados y el ácido fólico; se empleó además un saborizante artificial líquido con sabor a banano y como colorante se utilizó achote en polvo. Los equipos empleados para medir las características físicas de la pulpa de banano fueron viscosímetro (Brookfield, DV-II + Digital PRO tradicional),

agitador (Modelo Velp SON), refractómetro (Abbe Milton Roy Company 3L) y pH metro digital DPH-2.

Obtención de la harina de banano

En la etapa de secado de la pulpa, el equipo que se empleó fue un secador por aspersión con capacidad de 60 L, con atomizador de disco Marca ALSEC. Para ajustar el proceso de secado, se trabajó con un diseño experimental 2² (dos temperatura, dos niveles y un blanco). De este diseño experimental se eligió para el escalamiento industrial la harina de mejor respuesta técnica: temperatura de entrada y de salida con una variación de 110°C (temperatura de entrada 170°C y temperatura de salida 280°C), velocidad de rotación del atomizador de 1.400 rpm, velocidad de alimentación del equipo de 5,5 L/hora (para corridas de 10 L), la presión de entrada del aire fue la atmosférica y el número de repeticiones de cinco (cinco lotes). El producto se empacó en bolsas de película multicapa laminada metalizada de 100 micras, que ofrecen barrera a la luz, a los aromas, al oxígeno y a la humedad.

Pruebas de calidad

En la tercera etapa, a los cinco lotes obtenidos se les realizó una prueba sensorial de aceptación, análisis microbiológico y bromatológico.

Prueba sensorial de aceptación: se realizó siguiendo la metodología empleada en otros estudios (20-21). Se convocaron 120 evaluadores no entrenados, grupo integrado por estudiantes y personal administrativo de la Universidad de Antioquia. Las muestras se presentaron a los evaluadores en cucharas desechables marcadas con números de tres dígitos. Entre la degustación de la muestra de un lote y otro, el evaluador debía consumir agua para limpiar su paladar. Se aplicó una escala hedónica con los siguientes cinco criterios que van del menos aceptado al de mayor aceptación, así: "me disgusta mucho", "me disgusta moderadamente", "no me gusta ni me disgusta", "me gusta moderadamente" y "me gusta mucho". Posteriormente, para el análisis

sis estadístico, se asignó un valor de 1 a 5 a cada respuesta, donde 1 era “me disgusta mucho”, y 5 era “me gusta mucho”.

Análisis microbiológico: a los cinco lotes obtenidos se les realizaron las pruebas microbiológicas exigidas para estos productos (harinas) según la normatividad colombiana, aerobios mesófilos, mohos y levaduras, coliformes totales, coliformes fecales, *Escherichia coli*, *Staphylococcus coagulans* positiva, *Bacillus cereus* y *Salmonella* (22-23); las determinaciones fueron realizadas por el Laboratorio Tecnimicro, siguiendo la metodología propuesta por la AOAC (Association of Official Analytical Chemists), adaptada para el alimento en estudio (24). Las determinaciones se hicieron el día que se obtuvo el respectivo lote y 90 días después de haberlo almacenado a la temperatura ambiente de Medellín ($27^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$) y con una humedad relativa del 54%.

Análisis bromatológico

Caracterización de la micropartícula: se empleó un microscopio óptico con oculares de 10x y 16x, aumento total 1600x, cámara USB de 0.3 mp con software y zoom de ampliación.

Estudio *in vitro*: para evaluar la digestibilidad y la disponibilidad de los micronutrientes en los cinco lotes se utilizó un digestor Disolutor VK 705 DS VARIAN, con jugo gástrico simulado (sin enzimas) a pH 1,2, volumen de 900 ml/vaso para 25 g de harina, velocidad de 75 rpm, se tomaron muestras cada 15 minutos durante una hora, con tres repeticiones por muestra a temperatura de $37 \pm 5^{\circ}\text{C}$. Se hizo reposición del medio y cada muestra tomada fue filtrada en una membrana de $0,45 \mu\text{m}$.

Análisis estadístico

Se trabajó con los programas estadísticos SPSS versión 15, y Startgrafic 5.1, se aplicó estadística descriptiva y la prueba ANOVA mediante un análisis de varianza en función de los tratamientos propuestos para los cinco lotes, las variables analizadas fueron:

contenido de micronutrientes en cada lote, liberación de estos, en el tiempo y tamaño de micropartícula. Para establecer si existía diferencia en la aceptación de los lotes se hizo un análisis de varianza y a los resultados que mostraron diferencias estadísticamente significativas se les realizó la prueba de rangos múltiples de Duncan para determinar cuáles eran los tratamientos diferentes entre sí. Para la prueba de digestibilidad *in vitro* se hizo un análisis de liberación del micronutriente por cantidad liberada en el tiempo y se expresó en porcentajes.

RESULTADOS

Sensorialmente los cinco lotes obtenidos se pueden describir como polvos finos de fácil disolución, textura suave, color amarillo claro y con leve sabor a banano, para consumo inmediato. En la prueba sensorial de aceptación para los cinco lotes, el análisis de varianza reveló que existían diferencias significativas entre ellos ($p < 0,05$) (Tabla 1). La harina de banano correspondiente al lote 4 fue la de mayor calificación (Tabla 2).

Con relación al análisis bromatológico se encontró que el lote 4 presentó el más bajo contenido de humedad y el lote 1 el más alto (Tabla 3); en los cinco lotes, el contenido nutricional de los micronutrientes de interés fue el siguiente: el calcio varió entre 81 y 124 mg/100 g de producto, el hierro entre 5,1 y 6,5 mg/100 g y el zinc entre 2,43 y 2,93 mg/100g y, finalmente, el ácido fólico alcanzó valores entre 151 y 152 $\mu\text{g}/100 \text{ g}$, (Tabla 3).

El análisis microbiológico reportado por el laboratorio reveló que en todos los lotes la cuantificación de aerobios mesófilos, mohos y levaduras, coliformes totales, coliformes fecales, *Escherichia coli*, *Staphylococcus coagulans* positiva, *Bacillus cereus* y *Salmonella*, tanto el día que se obtuvo el producto como la determinación que se hizo el día 90, fueron bajos, como se observa en la tabla 4.

La prueba de microscopía óptica mostró micropartículas que tienden a presentar forma esférica

Elaboración de un alimento fortificado a partir de banano

Tabla 1. Análisis de varianza de la prueba sensorial de los productos de harina de banano

Fuente	gl	SS	CM	F-Ratio	P-Valor
Sexo	1	0	0	0	1,0000
Tratamiento	4	56,375	14,0938	7,47	0,0001
Residuos	394	743,625	1,88737		
Total	399	800			

Número de observaciones 400. gl: grados de libertad. SS: suma de cuadrados. CM: cuadrado de las medias.

Tabla 2. Comparación de la prueba sensorial entre los diferentes lotes de harina de banano

Harina de banano	Media	Límite inferior	Límite superior	Consumidores
Lote 1	2,39 ^a	2,08	2,70	80
Lote 2	2,90 ^b	2,59	3,21	80
Lote 3	3,04 ^b	2,73	3,35	80
Lote 4	3,55 ^b	3,24	3,86	80
Lote 5	3,13 ^c	2,81	3,44	80

Letras diferentes por fila indican diferencias significativas ($p < 0,05$), según la prueba de rangos múltiples de Duncan.

Tabla 3. Resultados bromatológicos por 100 g de los diferentes lotes de harina de banano

Lotes de harina de banano	Resultados bromatológicos							
	Calorías	Humedad %	Proteína g	Grasa g	CHO g	Fe mg	Ca mg	Zinc mg
1	388	1,4	0,4	0,0	96,7	5,2	81	2,43
2	390	1,2	1,0	0,1	96,2	6,2	103	2,47
3	393	0,3	0,7	0,2	97,4	6,3	113	2,93
4	390	0,8	0,7	0,0	97,0	5,6	115	2,93
5	393	1,2	0,7	0,9	95,8	6,6	124	2,37

Ca: calcio; CHO: carbohidratos; A. fólico: ácido fólico; Fe: hierro.

Tabla 4. Resultados microbiológicos de los cinco lotes de harina de banano el día de elaboración y 90 días después

Análisis microbiológico	Lotes				
	1	3	4	5	6
Aerobios mesófilos UFC/g	<100	<100	<100	<100	<100
Mohos y levaduras UFC/g	<10	<10	<10	<10	<10
Coliformes Totales/g	<3	<3	<3	<3	<3
Coliformes fecales/g	<3	<3	<3	<3	<3
Eschericha Coli/g	-	-	-	-	-
Estafilococo coagulasa positiva UFC/g	<100	<100	<100	<100	<100
Bacillus cereus UFC/g	<100	<100	<100	<100	<100
Salmonella/25g	-	-	-	-	-

UFC: unidades formadoras de colonia.

definida. De las cinco micropartículas obtenidas, la del lote 3 fue la de mejor forma geométrica y le siguieron las de los lotes 4 y 5. Esta prueba dejó ver unas micropartículas de formas esféricas y tamaños en el mismo rango, de 41 μm en promedio (Tabla 5 y figura).

Los resultados de la prueba de disolución mostraron una liberación gradual del calcio, las cantida-

des liberadas en los diferentes tiempos revelaron que este micronutriente inicialmente solo se liberó en un 53%, pero posteriormente el porcentaje de liberación fue disminuyendo, pasó a 12% a los 30 minutos y luego entre 5 y 4% a los 45 y 60 minutos, por el contrario el hierro fue liberado de manera acelerada, al igual que el zinc, logrando una disolución completa a los 30 minutos (Tablas 6, 7).

Tabla 5. Tamaño promedio de las microcápsulas de los cinco lotes de harina de banano

Lotes de harina de banano	Tamaño de microcápsula (μm)
1	29
2	46
3	41
4	48
5	38

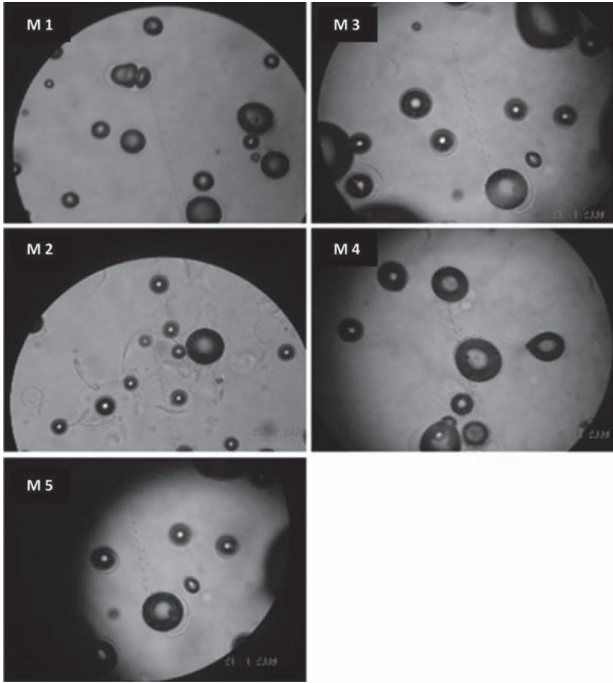


Figura. Microscopía óptica de los cinco lotes de harina de banano

Micropartículas de calcio lácteos de cada una de las harinas, vistas por medio de un microscopio óptico. De todas las micropartículas obtenidas, la del tratamiento 3 fue la de mejor forma geométrica y le siguieron las de los tratamientos 4 y 5. Se pueden ver unas micropartículas de forma esférica y tamaños promedio de 41 μm .

Tabla 6. Cantidad de micronutrientes diluidos en el tiempo de los cinco lotes de harina de banano

Micronutrientes	Período 1		Período 2		Período 3		Período 4	
	15*	%D	30*	%D	45*	%D	60*	%D
Calcio mg	150	53	34	12	15	5	12	4
Ácido fólico µg	467	31	302	20	144	10	130	9
Hierro mg	2,3	70	1	30	0	0	0	0
Zinc mg	1,8	79	0,31	14	0	0	0	0

* tiempo en minutos, %D corresponde al porcentaje de micronutriente diluido.

Tabla 7. Total de micronutrientes diluidos durante la prueba de disolución *in vitro* de los cinco lotes de harina de banano

Nutriente	Contenido antes de la disolución	Cantidad diluida	% diluido
Calcio mg	285	222	78
Hierro mg	3,3	3,4	100
Zinc mg	2,2	2,2	100
Ácido fólico µg	150	104	69

DISCUSIÓN

Las características sensoriales del producto obtenido le confieren la propiedad de ser un alimento para consumo inmediato, sin necesidad de ser sometido a ningún tipo de tratamiento térmico antes de ser ingerido, situación que favorece la conservación de los nutrientes con los que fue fortificado, y el haber logrado un bajo rango de humedad es una factor favorecedor para la vida útil del producto.

Con relación al análisis bromatológico se encontró que el rango de humedad de todos los lotes fue menor al reportado en la literatura para productos similares (25-26). La composición nutricional final de los cinco lotes en micronutrientes mostró que el contenido de hierro obtenido (5,1 a 6,5 mg/100 g) fue inferior al valor deseado (7,0 mg/100 g), de igual forma sucedió

con el zinc, que tampoco alcanzó el rango deseado (3 mg/100 g). El ácido fólico alcanzó un poco más de 100% del valor deseado (150 µg/100 g) y el calcio cerca de 25% del valor esperado (500 mg/100 g).

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), las enfermedades causadas por alimentos contaminados son uno de los problemas de salud más extendidos en el mundo contemporáneo (27). Los resultados del análisis microbiológico de la harina de banano revelaron que se puede conservar de manera adecuada y en su empaque original, con una cantidad de microorganismos patógenos por debajo de los límites establecidos por el entonces Ministerio de Salud para alimentos de consumo humano (23), lo que permite inferir que todos los lotes son aptos para el consumo. En un periodo de almacenamiento de 90 días a la temperatura ambiente de la ciudad de Medellín ($27^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$) y con una humedad relativa del 54%, sigue sin presentar ningún tipo de contaminación, con esto se disminuye el riesgo de transmisión de enfermedades causadas por alimentos, al producir un alimento de fácil manejo de almacenamiento y posiblemente con una vida útil adecuada para productos deshidratados. Esto puede ser debido al tratamiento térmico al que fue sometida la mezcla, lo que favoreció la disminución del contenido de humedad y redujo la probabilidad de crecimiento de microorganismos en la harina, permitiendo así dar cumplimiento a la normatividad actual referente (28).

Al tratarse de mejorar la biodisponibilidad de los micronutrientes con los que se fortifican alimentos, y especialmente en el nuevo producto desarrollado, es importante recordar las condiciones de la absorción de los nutrientes fortificados en la harina de banano. La absorción del hierro no heme (o sea el hierro que generalmente se adiciona para fortificar alimentos), zinc y calcio, ocurre por transporte activo por medio de transportadores celulares; asimismo, ocurre en la parte alta del intestino delgado (duodeno) y depende en gran medida de su solubilidad en el medio intestinal, por lo que es proporcional a la cantidad de potenciadores e inhibidores de esta solubilidad (5,29-31). El ácido fólico se absorbe principalmente en el yeyuno y su transporte puede ser activo para dosis fisiológicas o pasivo cuando se administran dosis farmacológicas (32).

Los resultados de la prueba de disolución mediante los ensayos *in vitro* revelaron que la liberación del hierro fue rápida, se liberó casi completamente en 30 minutos, lo que favorecería su absorción en el medio intestinal sin interferir con el transportador de metales divalentes, encargado del transporte intestinal del hierro y sin favorecer la formación de quelatos de hierro. Adicionalmente, el uso de hierro aminoquelado evita las interacciones en la luz intestinal (6,9), favoreciendo su propia biodisponibilidad y también la del zinc (33). Los resultados de la prueba de disolución permiten deducir que posiblemente habrá poca interferencia entre la absorción del hierro con el calcio y el zinc, y a pesar de que el hierro y el zinc se liberan de una manera acelerada, quedando completamente libres a los 30 minutos, las posibilidades de que interfieran entre sí son pocas, porque las cantidades adicionadas a la harina tienen una relación molar hierro: zinc menor a 2,5 (5,7). Las cantidades de hierro y zinc no absorbidos en la primera porción del duodeno, por estar rodeados de aminoácidos, pueden

ser captados principalmente por el yeyuno donde existen numerosos transportadores de aminoácidos (34), de esta manera se disminuye el antagonismo en su absorción (5,34-35). Infortunadamente no se dispone de estudios publicados sobre la biodisponibilidad de nutrientes en alimentos multifortificados con hierro y zinc aminoquelados y calcio microencapsulado que permita comparar los resultados del presente estudio.

En conclusión, se logró obtener un diseño inicial o base de un producto a partir de banano para consumo inmediato o que puede ser incluido en otras preparaciones y con características sensoriales agradables para el consumidor, fortificado con hierro y zinc aminoquelados, calcio microencapsulado y folato, posiblemente de buena biodisponibilidad, alimento que podría ser importante en la prevención y manejo de las deficiencias de los nutrientes en mención en la población colombiana, cuyo patrón de consumo de alimentos actualmente es insuficiente para cubrir los requerimientos diarios de los nutrientes mencionados.

Un logro importante fue haber microencapsulado el calcio lácteo mediante el secado por aspersión. El análisis *in vitro* es una prueba fundamental, que se debe exigir para los alimentos fortificados porque permite conocer la velocidad de liberación del nutriente, lo que sin duda influye sobre la biodisponibilidad del mismo.

La combinación del proceso de secado, el almacenamiento (a 90 días) con buenas normas de manipulación y el tipo de empaque son factores determinantes para la vida útil del alimento, el tratamiento contribuyó con la disminución en gran escala de la carga microbiana y las buenas prácticas de almacenamiento y el empaque impidieron, e incluso aislaron, el producto del medio externo, evitando una posible contaminación y un deterioro del contenido nutricional y sensorial.

Referencias

1. ICBF. Encuesta nacional de la situación nutricional en Colombia (ENSIN 2010). Bogotá; 2011.
2. Shane B. Folic acid, vitamin B12 and vitamin B6. In: Stipanuk, MH. Biochemical, physiological and molecular aspects of human nutrition. 2 ed. New York: Saunders Elsevier; 2006. p. 693-732.
3. Colombia. Ministerio de la Protección Social. Resolución 333 de 2011, por la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos de rotulado o etiquetado nutricional que deben cumplir los alimentos envasados para consumo humano. Diario Oficial. 2011. [citado marzo de 2011];(47.984) Disponible en: <http://www.avancejuridico.com/actualidad/documentosoficiales/47984.html>.
4. Castillo PB, Raimann X. Modificaciones a la leche del Programa Nacional de Alimentación Complementaria (PNAC). Rev Chil Pediatr. 2009;80:508-12.
5. López RD, Castillo DC, Díaz GD. El zinc en la salud humana. Rev Chil Nutr. 2010;37:234-9.
6. Lassa MS. Evaluación de las propiedades físicas y disponibilidad de minerales de expandidos fortificados, elaborados en base a maíz y soja [Tesis Magister en Ciencia y Tecnología de Alimentos]. Santa Fe: Universidad Nacional del Litoral. Facultad de Ingeniería Química; 2008. [citado junio de 2011]. p.78 Disponible en: <http://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8180/tesis/bitstream/1/143/1/tesis.pdf>.
7. Olivares M, Pizarro F, Ruz M. Zinc inhibits nonheme iron bioavailability in humans. Biol Trace Elem Res. 2007;117:7-14.
8. Gaitan DA, Flores S, Pizarro F, Olivares M, Suazo M, Arredondo M. The effect of calcium on non-heme iron uptake, efflux, and transport in intestinal-like epithelial cells (Caco-2 cells). Biol Trace Elem Res. 2011;145:300-3.
9. Pérez JM, Tobón G. Compuestos de hierro para suplementación oral: principios y avances: revisión sistemática. Vitae. 2006;13:85-95.
10. Boccio J, Monteiro JB. Fortificación de alimentos con hierro y zinc: pros y contras desde un punto de vista alimenticio y nutricional. Rev Nutr. 2004. [citado abril de 2011];17:71-8. Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-52732004000100008&lng=en. doi: 10.1590/S1415-52732004000100008.
11. Herrera LT, Cristina E, Vitela M, Valdez SB. Microencapsulación de triclosan por polimerización interfacial para aplicaciones textiles. Rev Iberoam Polim. 2010;11:471-84.
12. Aulton ME. Farmacia: la ciencia del diseño de las formas farmacéuticas. 2 ed. Madrid: Gea Consultoría; 2004. p. 613.
13. Desai KG, Park HJ. Recent developments in microencapsulation of food ingredients. Drying Technol. 2005;23:1361-94.
14. Reza MM, Khosravi DK, Gokce BG, Cuia J, Pardakhty A, Yurdugul S. Encapsulation of food ingredients using nanoliposome technology. Inter J Food Properties. 2008;11:833-44.
15. González HM, Hernández DM, Dupeyrón MD, Rieumont BJ, Rodríguez AC, Sardiña C. Liberación de fertilizantes desde hidrogeles. Rev Iberoamer Polímeros. 2007;8:275-86.
16. Pedraz JL, Orive G. La microencapsulación de células. ¿Una nueva alternativa terapéutica? An R Acad Nac Farmac. 2004;70:777-87.
17. Villena MJ, Morales HM, Gallardo LV, Ruiz M. Técnicas de microencapsulación: una propuesta para microencapsular probióticos. Ars Pharm. 2009;50:43-50.
18. López O, Muñoz A, Carmona R, González M, Torres L, Varela AE, et al. Obtención y escalado de extracto seco de *Caléndula officinalis*, L. Rev Cubana Quim. 2007;19:71-3.

19. Masters K. The spray drying Handbook. New York: Longman Scientific; 1991.
20. Pacheco DE, Testa G. Evaluación nutricional, física y sensorial de panes de trigo y plátano verde. *Interciencia*. 2005;30:300-4.
21. Arcila N, Mendoza Y. Elaboración de una bebida instantánea a base de semillas de amaranto (*Amaranthus cruentus*) y su uso potencial en la alimentación humana. *Rev Fac Agron*. 2006;23:114-24.
22. Rivas M, Mercado EC, Frade AH, Rizzo IJ. Calidad microbiológica de productos deshidratados e instantáneos para lactantes y niños. *Rev Argent Microbiol*. 1985;17:5-10.
23. Colombia. Ministerio de Salud. Resolución N°11488 de 1984. Por la cual se dictan normas en lo referente a procesamiento, composición, requisitos y comercialización de los alimentos infantiles, de los alimentos o bebidas enriquecidos y de los alimentos o bebidas de uso dietético. Bogotá; 1984. [citado junio de 2011]. Disponible en: http://web.invima.gov.co/portal/documents/portal/documents/root/resolucion_11488_1984.pdf.
24. International Guidelines for Laboratories Performing Microbiological and Chemical Analyses of Food and Pharmaceuticals (ALACC Guidelines). Gaithersburg, Ma; 2010. [citado marzo de 2011]. Disponible en: http://www.aoac.org/News/AOAC_ALACC.htm.
25. Madene A, Jacquot M, Scher J, Desobry S. Flavour encapsulation and controlled release: a review. *Inter J Food Sci Technol*. 2006;41:1-21.
26. Candelas M, Alanis M, Del Rio F. Cuantificación de licopenos y otros carotenoides en tomate y polvo de tomate. *Rev Mex Agroneg*. 2006;10:299-307.
27. Loaharanu P. Creciente demanda de alimentos inocuos, la tecnología de las radiaciones constituye una respuesta oportuna. *Bol OIEA*. 2001;43:37-42.
28. Vanegas MC, Rojas IJ, Molina JC. Guías para el laboratorio de microbiología de alimentos. Bogotá: Universidad de los Andes; 2004. p 93.
29. Cardero RY, Sarmiento GR, Selva CA. Importancia del consumo de hierro y vitamina C para la prevención de anemia ferropénica. *Medisan*. 2009 [citado junio de 2011];13. Disponible en: http://bvs.sld.cu/revistas/san/vol13_6_09/san14609.pdf.
30. Forrellat BM, Fernández D, Hernández RP. Nuevos conocimientos sobre el metabolismo del hierro. *Rev Cubana Hematol Inmunol Hemoter*. 2005 [citado junio de 2011]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-02892005000300003&lng=es.
31. Vargas GW. Los elementos traza en la nutrición humana. *Rev Costarric Cienc Med*. 1985;6:241-9.
32. Suárez MP. Ácido fólico: nutriente redescubierto. *Acta Med Costarric*. 2003;45:5-9.
33. Olivares M, Pizarro F, Gaitán D, Ruz M. Acute inhibition of iron absorption by zinc. *Nutr Res*. 2007;27:279-82.
34. Canaval H, Pérez H, Rincón D, Vargas J. Farmacología del hierro. Bogotá: Anemia Working Group Latin America (AWGLA); 2004 [citado junio de 2011]. Disponible en: <http://www.awgla.com/publicaciones/descargas/FarmacologiaDelHierro.pdf>.
35. Zeballos MF, Vanoli MC, Merino C, Ermeninto MF. Nutrición con ostomías. *Rev Asoc Coloproct del Sur*. 2005;1:25:38.