

Estabilidad en almacenamiento y procesamiento de Vitamina C y biodisponibilidad del hierro suplementario a la harina nixtamalizada de maíz

R. Bressani,
Ana S. de Ruiz,
Patricia P. de Palomo
& E. Gudiel

Resumen

El maíz transformado en tortilla es un vehículo idóneo para ofrecer mayor disponibilidad de hierro para poblaciones que sufren deficiencias nutricionales como las de Guatemala. Existe la posibilidad de que la presencia de inhibidores endógenos en el maíz, como el ácido fítico y la fibra dietética o el calcio adquirido por el proceso de cocción alcalina, contribuyan a reducir la bioutilización del hierro suplementario. Por esta razón, se pensó en incluir en la harina de maíz nixtamalizado (HMN) el ácido ascórbico o Vitamina C que favorece la bioutilización del hierro, como ya se ha demostrado con otras harinas. En el caso de la HMN que se produce por medio de un proceso alcalino de cocción, la estabilidad de la Vitamina C fue una interrogante. Por esta razón, se llevaron a cabo varios experimentos que incluyeron: a) la estabilidad de la Vitamina C agregada a la HMN y almacenada por 90 días a 25 y 35°C; las pérdidas de Vitamina C no fueron mayores de 20%; b) estudios de la eficiencia del método de mezclado de la Vitamina C y del hierro en la harina los cuales dieron recuperaciones mayores del 80%; c) se estudió el efecto del pH de la harina sobre la estabilidad de la Vitamina C y del hierro; no se detectó un efecto claro por pH aunque, a pH 7 la pérdida de Vitamina C fue mayor que a pH 5 y 6; se observó que el hierro total no es afectado por el pH de la harina pero el hierro disponible fue menor a pH alcalino que a pH ácido; d) los efectos de procesamiento de la harina en la preparación de tortilla, tamalito y atol. La pérdida de Vitamina C en la tortilla fue del 12 a 33% y no aumentó en muestras recalentadas. La recuperación en tamalito fue del 13 a 25%, y las mayores pérdidas se observaron en el atol (30 a 32%); e) se demostró que la Vitamina C favorece la utilización del hierro férrico y ferroso adicionado a la harina, en estudios *in vitro* y en estudios *in vivo* por repleción de hemoglobina en ratas.

Introducción

Una de las principales deficiencias nutricionales en humanos, en países en vías de desarrollo, es la de hierro, que afecta en alto grado a los grupos de población más vulnerables, niños, madres embarazadas y mujeres en general.

Estas poblaciones dependen de productos de origen vegetal, cereales, leguminosas de grano, así como de verduras, para su alimentación y nutrición.

Los cereales se caracterizan por tener un hierro poco biodisponible y entre ellos, posiblemente, el cereal con la menor biodisponibilidad, es el maíz (1). Varios estudios han demostrado que la baja biodisponibilidad del hierro del maíz se debe al alto contenido de ácido fítico, presente principalmente en el germen (2,3). Se ha observado que la eliminación del germen del maíz reduce el contenido de ácido fítico y aumenta la biodisponibilidad del hierro (4). Asimismo, variedades de maíz de bajo contenido de ácido fítico tienen mayor biodisponibilidad del hierro (5). También, se ha demostrado que la nixtamalización del maíz reduce el contenido de ácido fítico en un 25-30% (3,6). Además del ácido fítico, los granos contienen otros inhibidores de la bioutilización del hierro, como pueden ser, la fibra dietética, los taninos y los compuestos químicos que reaccionan con hierro fácilmente (7,8).

En Guatemala, el maíz se procesa para consumo por medio de la cocción alcalina del grano con hidróxido de calcio. Este proceso elimina parte de la fibra e induce un aumento significativo en el contenido de calcio (9). A pesar de que el calcio en la tortilla es de gran importancia nutricional para el consumidor local, ya que no dispone de otra fuente de calcio en la dieta, el calcio es también inhibidor de la bioutilización del hierro (10-13). La harina nixtamalizada de maíz se ha fortificado utilizando diversas sales de hierro como fumarato ferroso, bisglicina de hierro y EDTA NaFe (14); si bien la bioutilización del hierro aumenta está siempre sujeta al efecto negativo que el ácido fítico y el nivel de calcio puedan ejercer. Por consiguiente, es de interés práctico y útil, encontrar una respuesta al problema de las interacciones negativas que pueden existir entre la adición de hierro de las fuentes indicadas anteriormente y el contenido de calcio en la harina y de otros inhibidores, como el ácido fítico. Además, las sales de hierro pueden fácilmente inducir cambios químicos que pueden afectar la calidad tecnológica del alimento, como son el color, sabor y textura.

En el presente estudio, se postula la posibilidad de que la adición de ácido ascórbico a la harina de maíz nixtamalizada sea el agente que favorezca la utilización del hierro de la harina, tanto el hierro endógeno, como el que ha sido adicionado, independientemente de los niveles de calcio en la harina. Además, el ácido ascórbico, por sus características como antioxidante, puede ser útil en fortalecer las características funcionales de la harina nixtamalizada de maíz.

La eficiencia del ácido ascórbico como promotor de la absorción del hierro, no hemínico de varios alimentos está bien documentado (12,13,14). Sin embargo, el ácido ascórbico tiene limitaciones como un promotor universal de la absorción de hierro debido a que es lábil en soluciones de baja acidez (16,17,18).

Varios estudios se han llevado a cabo con el fin de estudiar la estabilidad de la Vitamina C agregada a diversas harinas. Vojnovide & Pferfer (19) estudiaron la estabilidad a la temperatura, humedad y tiempo de almacenamiento del ácido ascórbico adicionando a mezclas de harina de trigo, a cereales para infantes y a una mezcla de maíz soya leche. El ácido ascórbico en la harina de trigo fue poco estable bajo condiciones de alta temperatura y humedad.

La Vitamina C encapsulada fue más estable que la no encapsulada, pero quedó claro que la humedad del producto era muy importante en la estabilidad del ácido ascórbico, siendo más estable en productos de baja humedad. Dennison & Kirk (16) confirmaron los efectos de humedad expresada en términos de actividad de agua usando un alimento con un pH 6.8 similar a un cereal de desayuno. Cuando la actividad del agua fue de 0.1 - 0.4 no se observó destrucción del ácido ascórbico. El mecanismo por medio del cual el ácido ascórbico favorece la bioutilización del hierro ha sido objeto de estudio (17,18,19,20).

En base a lo anterior, el objetivo general de este estudio fue contribuir al mejoramiento de la calidad nutricional de la harina nixtamalizada de maíz a través de la fortificación con hierro y conocer sobre la estabilidad de la Vitamina C en la harina y productos de consumo, así como su efecto sobre la biodisponibilidad del hierro.

Materiales y Métodos

El estudio se llevó a cabo usando varias marcas comerciales de harinas de maíz nixtamalizada en Guatemala, las cuales se obtuvieron en los supermercados. Muestras representativas fueron analizadas en su composición química por los métodos oficiales de la AOAC (2) y en el contenido de calcio y hierro de las cenizas por absorción atómica. El pH de las harinas se midió por el métodos de la AOAC (21) y la Vitamina C por medio del método titrimétrico usando 2-6 diclorofenolindofenol de la AOAC (21).

La parte experimental se desarrolló por fases, con el objetivo de responder a varias preguntas:

¿Cuál es la estabilidad de la Vitamina C en las harinas durante el almacenamiento?

Para realizar el experimento se utilizaron muestras de las cuatro marcas comerciales; a 5.5 kg de cada harina se le agregó 75 mg de Vitamina C/100 g, mezclada en una mezcladora de paletas y una cantidad igual de harina

como control. La harina con y sin Vitamina C fue distribuida en bolsas con 340 g de harina/bolsa y colocadas en duplicado a temperaturas de 25°C y 35°C, a una humedad relativa entre 40 a 50%. Las muestras se colocaron en la incubadora y fueron evaluadas a los 0, 30, 60 y 90 días determinando en ellas su contenido de humedad y Vitamina C. Asimismo, se evaluó el pH, absorción de agua y sólidos solubles en agua y el color de la harina.

¿Cómo afecta la distribución y estabilidad de la Vitamina C y disponibilidad del hierro factores como el mezclado, el pH de la harina y su transformación en alimentos? Con el propósito de conocer más sobre estas posibilidades se llevaron a cabo varios experimentos que se presentan a continuación.

¿Cuál es el efecto del mezclado? Para estos estudios se procedió a efectuar un mezclado directo (No. 1), agregando la Vitamina C (750 mg/kg) y el hierro (111 mg de fumarato ferroso/kg) a la harina, seguido de un mezclado por 30 min, con una mezcladora tipo Hobart. En la segunda forma de mezclado (No. 2), los suplementos se adicionaron a 100 g de harina que fueron mezclados y luego estos se agregaron a 900 g de harina y se mezcló por 30 min, como en el caso anterior. En el tercer método (No. 3), los suplementos se mezclaron en 100 g de harina por 10 min, y luego se adicionaron otros 100 g de harina y se mezcló por 10 min, antes de agregar estos 200 g a los 800 g de harina no fortificada, la cual fue luego mezclada por 30 min. Por ultimo, (No. 4) se utilizó el método anterior pero suplementando la harina con 100 mg de Vitamina C por 100 g. Todas las muestras fueron almacenadas a temperatura ambiente y analizadas en su contenido de Vitamina C a los 0, 15, y 30 días y en su contenido de hierro a los 30 días, únicamente.

¿Cuál es el efecto del pH de la harina nixtamalizada de maíz, sobre la estabilidad de la Vitamina C y del hierro suplementario durante el almacenamiento a temperatura ambiente por 30 días? El propósito del presente estudio fue estudiar el efecto del pH de la harina sobre la estabilidad de la Vitamina C, y conocer el efecto del pH y de la Vitamina C, sobre el hierro disponible agregado a la harina almacenada hasta por 30 días en condiciones ambientales, de los laboratorios de alimentos de la Universidad del Valle de Guatemala. Una harina nixtamalizada comercial previamente analizada fue utilizada para el estudio. Esta harina fue dividida en 3 lotes de 1000 g cada uno, dejando un lote de 250 g como control. A los 3 lotes de 1000 g se les ajustó el pH a 5, 6 y 7, teniendo la harina original un pH de 6.5. El pH 5 y 6 se ajustó con el uso de ácido cítrico, mientras que el pH 7 se logró con el uso de hidróxido de calcio. Cada lote de 1000 g fue dividido en partes iguales y se les agregó 100 mg de Vitamina C por 100 g de harina y 11 mg de fumarato ferroso (3.63 mg Fe/100 g de harina), por 100 g de harina. Estas cantidades se incorporan a través de una premezcla, en una batidora por 30 min, como había sido establecido en un estudio anterior.

¿Cuál es la estabilidad de la Vitamina C durante el procesamiento de la harina en tortilla? Para estos fines se utilizaron cuatro marcas comerciales de harina nixtamalizada de maíz a las cuales se les adicionó la Vitamina C en una cantidad de 75 mg por 100 g de harina. Después de la mezcla en la mezcladora Hobart con premezclado, se procedió a la preparación de tortillas utilizando 125 g de harina con 400 ml de agua, dejando reposar por 15 minutos después de amasar, para luego preparar las tortillas. Las tortillas se dejaron enfriar (0 horas) y luego se analizaron. Los análisis de Vitamina C se realizaron también 4 y 24 h, después en la tortilla recalentada y enfriada. También, se produjeron tamalitos y atole: Para elaborar el tamalito, se preparó una masa como se describió para la tortilla. La masa fue envuelta en tuza de maíz y hervida en agua por 40 min. Para el atole, se tomaron 5 g de harina en 95 cc de agua y se cocinó por 20 min.

¿Cuál es el efecto de la suplementación de la HNM con Vitamina C sobre la biodisponibilidad del hierro *in-vitro* e *in-vivo*? Para estos fines se prepararon 10 kg de harina de los seis tratamientos siguientes: (a) harina HNM; (b) HNM con la adición de 100 mg de Vitamina C/100 g; (c) HNM con la adición de fumarato ferroso en 11 mg/100 g; (d). HNM con Vitamina C y fumarato ferroso; (e) HNM con 11 mg de hierro reducido por 100 g, y (f) HNM con hierro reducido y Vitamina C. Muestras de estas harinas previamente bien mezcladas fueron analizadas, determinándose los contenidos de Vitamina C, hierro total, y hierro dializable (22). El resto de las harinas se utilizaron para establecer la biodisponibilidad del hierro *in vivo* usando el método de repleción de hemoglobina de la AOAC (21).

Resultado y Discusión

- Composición química proximal y contenido de Ca y Fe en harinas

Los datos del contenido de macronutrientes, de calcio y de hierro de 4 harinas comerciales de maíz nixtamalizado se presentan en la Tabla 1. Los valores están en base natural, o sea, en base a la humedad de las harinas. La humedad varió entre 7.63 a 8.82%, que son datos que se esperan en estas harinas. El contenido de proteína es similar a los que se encuentran en la literatura. El contenido de cenizas varió entre 1.30 a 1.62 g %. El contenido de calcio varió entre 94.5 a 103.1 mg %, que son valores un tanto por debajo de lo que se ha informado, mientras que el contenido de hierro varió entre 1.61 a 2.87 mg %. El valor de 2.87 mg % es probablemente debido a que esta harina está fortificada con hierro. Las harinas tenían un pH variando entre 5.87 a 6.75.

TABLA 1

Composición química de algunas harinas
comerciales nixtamalizadas de maíz

Nutriente	Harina			
	1	2	3	4
Humedad, %	7.63 ± 0	7.96 ± 0.11	7.82 ± 0.11	8.82 ± 0.15
Proteína, g %	8.81 ± 0	8.97 ± 0.11	8.37 ± 0.18	8.87 ± 0
Grasa, g %	3.73 ± 0.07	3.83 ± 0.42	3.80 ± 0	3.80 ± 0.02
Cenizas, g %	1.62 ± 0.01	1.33 ± 0.01	1.53 ± 0.01	1.30 ± 0.04
Calcio, mg %	99.5 ± 9.7	94.5 ± 18.7	103.1 ± 5.2	101.0 ± 7.6
Hierro, mg %	1.95 ± 0.19	1.61 ± 0.11	2.11 ± 0.05	2.87 ± 0.29
pH	6.75 ± 0.04	6.32 ± 0.01	5.87 ± 0.02	6.58 ± 0.02

- Efecto del almacenamiento a 25 y 35°C por 90 días.

Los datos del pH, de la humedad y de la Vitamina C en la harina nixtamalizada de maíz almacenada por 90 días, a dos temperaturas, se muestra en la Tabla 2. Estos datos representan los promedios de los valores encontrados en cada una de las 4 harinas. La humedad de las harinas, así como el pH, se mantuvieron relativamente constantes a través de los 90 días. Los resultados para la Vitamina C se encuentran en las dos últimas filas de la Tabla. Primero, se reporta la cantidad detectada por el análisis en las diferentes muestras. Luego, en la última fila, se ha expresado la Vitamina C detectada en el análisis como un % de la cantidad añadida a la harina, antes del mezclado, que en este caso particular, fueron 75 mg%. A estas cifras se les denomina en la Tabla: recuperación Vitamina C, y puede notarse que todos los valores estuvieron abajo del 100%. Esto no debería haber ocurrido, especialmente a tiempo 0, e indica que el material mezclado no es homogéneo y por lo tanto el problema de muestreo resalta en todos los análisis. Aún así, puede observarse en estas cifras que no existe tendencia alguna que muestre una franca disminución de la Vitamina C con respecto a la temperatura y el tiempo de almacenamiento, por lo que puede considerarse que la Vitamina C en la mezcla fue estable.

TABLA 2

Estabilidad de la Vitamina C
en harina nixtamalizada de maíz
durante tres meses a 25 y 35°C

	Meses							
	0		1		2		3	
	25°C	35°C	25°C	35°C	25°C	35°C	25°C	35 °C
Humedad, %	8.10 ± 0.34	-	7.96 ± 0.27	7.54 ± 0.24	8.76 ± 0.16	6.44 ± 0.18	8.13 ± 0.17	7.44 ± 0.21
pH	6.33 ± 0.21	-	6.28 ± 0.17	6.31± 0.20	6.24 ± 0.12	6.32 ± 0.20	6.29 ± 0.13	6.33 ± 0.18
Vitamina C, mg%	61.7 ± 11.7	-	65.6 ± 11.5	67.7± 13.2	58.5± 11.3	58.8 ± 12.0	62.3 ± 8.5	61.6 ± 8.7
Recuperación Vitamina C, %	82.3	-	87.5	90.3	78.0	78.4	83.1	82.1

- Efecto de mezclado y almacenamiento

La Tabla 3 describe los datos de esta parte del estudio. Como se puede observar, la humedad de las harinas se mantuvo estable durante los 30 días de almacenamiento y no existe relación entre el tipo de mezclado de la Vitamina C y la humedad. Con respecto a la Vitamina C, cuando se agrega en forma escalonada y a los niveles de 75 mg/100 g (mezclas No. 2 y No. 3 de la Tabla) y al nivel de 100 mg/100 g (mezcla No. 4), se nota, debido a la alta recuperación, que el mezclado progresivo es muy efectivo en distribuir la Vitamina C en la harina; además, se puede observar que ocurrió una pérdida de la Vitamina C a los 30 días de almacenamiento que fue de 9% en promedio para las mezclas No. 2 y No. 3, y del 15% para la mezcla No. 4.

TABLA 3

Efecto de mezclado y tiempo de almacenamiento sobre estabilidad de la Vitamina C suplementada

Mezclado	% Humedad en Harina	Vitamina C mg/100 g	Recuperación %
		0 DIAS	
Control	8.5 ± 0.07	0	-
Mezclado directo (No. 1)	8.4 ± 0.16	61.4 ± 16.7	81.9
Adición escalonada (No. 2)	8.3 ± 0.07	63.2 ± 1.8	84.3
Adición escalonada (No. 3)	8.3 ± 0.08	63.5 ± 9.2	84.7
Adición escalonada (No. 4)	8.2 ± 0.06	88.4 ± 2.2	88.4
		15 DIAS	
Control	9.2 ± 0.12	0	-
Mezclado directo (No. 1)	8.3 ± 0.12	65.6 ± 4.4	87.5
Adición escalonada (No. 2)	8.4 ± 0.04	60.8 ± 12.0	81.1
Adición escalonada (No. 3)	8.4 ± 0.08	54.4 ± 4.5	72.5
Adición escalonada (No. 4)	8.3 ± 0.25	88.9 ± 11.4	88.9
		30 DIAS	
Control	9.0 ± 0.14	0	-
Mezclado directo (No. 1)	8.4 ± 0.07	60.3 ± 5.2	80.4
Adición escalonada (No. 2)	8.3 ± 0.10	58.0 ± 10.3	77.3
Adición escalonada (No. 3)	8.5 ± 0.09	61.3 ± 2.2	81.7
Adición escalonada (No. 4)	8.5 ± 0.10	75.1 ± 5.3	75.1

La recuperación de Vitamina C varió entre 82 a 88% a los 0 días, de 72.5 a 88.9% a los 15 días y de 75.1 a 81.7 % a los 30 días, o sea, que existe una tendencia de disminución.

- Efecto de pH

La Tabla 4 resume el efecto del pH de las harinas de maíz nixtamalizado a 0, 15 y 30 días de almacenamiento sobre la estabilidad de la Vitamina C. El contenido de agua aumentó entre 6 a 8% en 30 días en las muestras tratadas a pH 5, 6 y 7 y sólo 2% en el caso de la harina control. Parte de este aumento se debe, probablemente, al manejo de las harinas ajustándoles el pH. El análisis de variancia de los datos de humedad indicó un efecto significativo, por pH, y también por días de almacenamiento. El pH de las harinas para los tres niveles ensayados, no cambió durante los 30 días de almacenamiento.

Con respecto al contenido de Vitamina C, la cual se agregó a un nivel de 100 mg/100 g, no se ven efectos claros en su comportamiento, no sólo entre los pH 5, 6 y 7, sino que también con respecto al tiempo de almacenamiento. La recuperación global fue del 74.04% a los 30 días para todos los pH y la mayor pérdida se encontró a los 30 días en harina con pH de 5. Sin embargo, a pH 6 el contenido de Vitamina C fue mayor a los 30 días que al inicio y a pH 7 no se encontró cambios entre 0, 15 y 30 días. Estos datos sugieren que el pH 5 favoreció la inestabilidad de la Vitamina C como se ha sugerido o no hubo una distribución homogénea de la vitamina en la harina en el proceso de mezclado. El análisis de variancia de los datos de Vitamina C, no indicó diferencias significativas, ni por pH, ni por días de almacenamiento.

La disponibilidad del hierro es afectada por el pH de la harina como se puede observar en la Tabla 5. El hierro dializable se mantuvo alto en las harinas de pH 5 y no fue afectado por el tiempo, mientras que a pH 6 y 7, el hierro dializable, fue mucho menor.

TABLA 4

Valor de humedad, pH y de Vitamina C
en harinas nixtamalizadas de maíz almacenadas
en el laboratorio por 30 días

Harina	Días de Almacenamiento								
	0			15			30		
	Humedad, %	pH	Vitamina C mg/100 g	Humedad, %	pH	Vitamina C mg/100 g	Humedad, %	pH	Vitamina C mg/100 g
Control	8.75± 0	6.50± 0.10	0	-	6.40± 0.01	-	8.91± 0	6.51± 0.01	-
5	9.11± 0.12	5.00± 0	81.83± 2.39	9.54± 0.09	5.22± 0.11	97.84± 4.23	9.65± 0.03	5.06± 0.06	60.61± 1.50
6	8.61± 0.01	6.10± 0	77.04± 3.80	8.95± 0.06	6.23± 0.02	96.46± 6.67	9.33± 0.08	6.19± 0.03	84.32± 6.96
7	8.71± 0.05	7.10± 0	77.65± 0.66	9.09± 0.01	7.20± 0.04	78.08± 12.28	9.36± 0.04	7.14± 0.01	77.19± 7.83
Promedio	8.79	-	78.84	9.19	-	90.79	9.31	-	74.04

TABLA 5

Hierro total dializable en harinas nixtamalizadas
de maíz a diferentes pH por 30 días

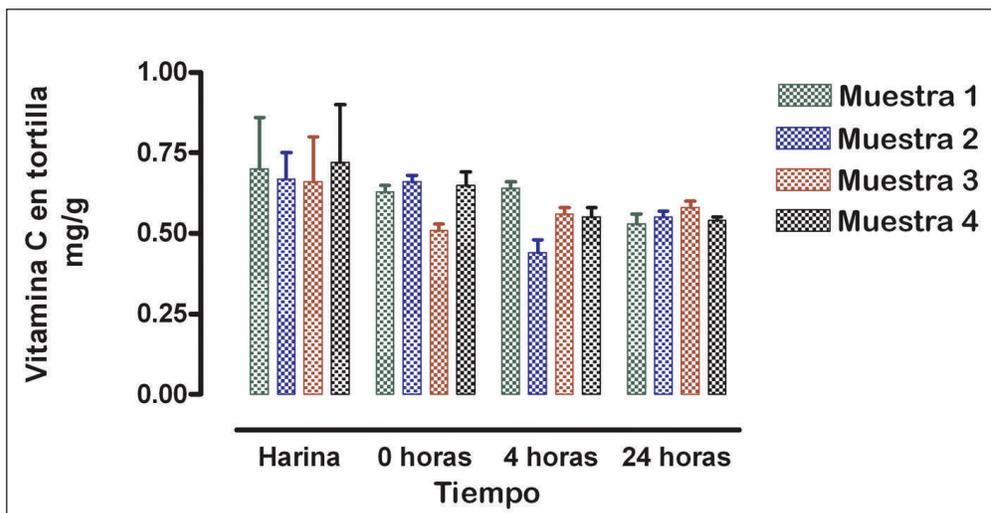
Harina pH	Días de Almacenamiento					
	0		15		30	
	Hierro, mg %		Hierro, mg %		Hierro, mg %	
	Total	Dializable	Total	Dializable	Total	Dializable
Control	1.42± 0	0.016± 0.01	1.75± 0.04	0.012± 0	1.71± 0.14	0.137± 0.16
5	5.91± 0.64	0.258± 0.124	5.21± 0.34	0.292± 0.101	5.25± 0.11	0.299± 0.03
6	4.25± 0	0.095± 0.009	4.95± 0.35	0.109± 0.016	4.76± 0.10	0.106± 0.018
7	4.71± 0.41	0.076± 0.002	4.92± 0.21	0.088± 0.004	4.91± 0.15	0.106± 0.027

- Efecto del procesamiento sobre la estabilidad de la Vitamina C

En la Gráfica 1 se observa la variación del contenido de Vitamina C en: las cuatro harinas, a las cuales se les había agregado 0.75 g/g, y, en tortillas, elaboradas con dichas harinas, muestreadas inmediatamente y después de ciertas horas en reposo, a temperatura ambiente, y luego recalentadas. Puede observarse que la variación entre muestras fue alta y se discierne una leve disminución de Vitamina C cuando se manufactura la tortilla y durante el tiempo de reposo de la misma. La recuperación de la Vitamina C fue más baja a las 24 h, pero en ningún caso fue menor de 71%.

GRÁFICA 1

Contenido de Vitamina C en harinas nixtamalizadas y en las tortillas

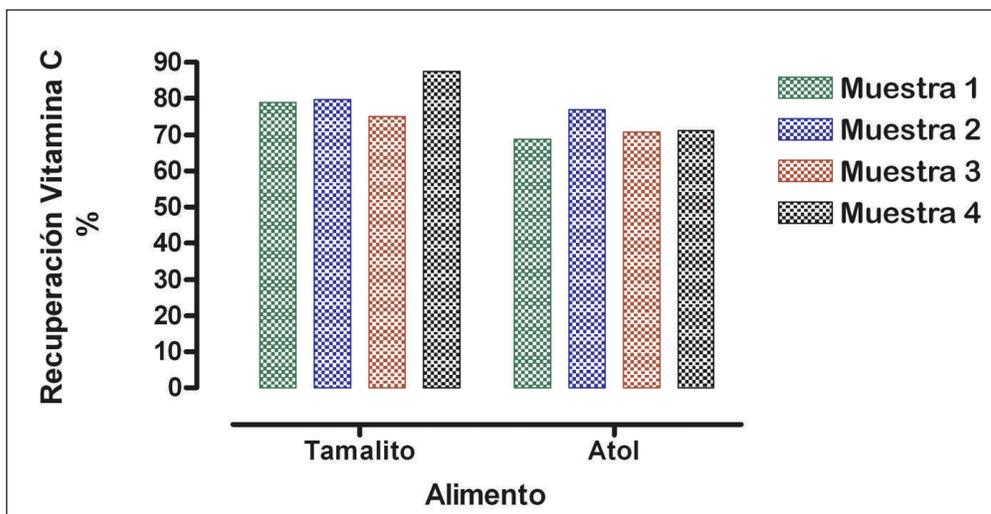


- En otros alimentos

Otros alimentos producidos de harina nixtamalizada de maíz son el atol y el tamalito. Estos productos fueron preparados de harinas comerciales de maíz nixtamalizado a las cuales se le había adicionado 75 mg/100 g de Vitamina C, con excepción de la muestra No. 4, en donde se aumentó dicha cantidad a 100 mg/100 g. El tamalito tenía un contenido de materia seca de 23.1% y el atol de 5%. Se puede observar en la Gráfica 2 que los datos de recuperación de la Vitamina C fueron aceptables para los dos alimentos, notándose que se pierde más la Vitamina C en el atol que en el tamalito.

GRÁFICA 2

Recuperación de la Vitamina C de tamalitos y del atol



- Efecto de la suplementación de la harina Nixtamalizada de maíz con Vitamina C sobre la biodisponibilidad del hierro *in vitro* e *in vivo*

Los resultados de este experimento se resumen en la Tabla 6. Los contenidos de Vitamina C y de hierro total en las muestras se describen en las dos primeras columnas de la tabla. El porcentaje de Vitamina C suplementaria varió entre 78 a 86% como fue el caso en estudios anteriores. Se puede observar, en la tercera columna, el incremento que se detectó en Fe dializable, debido a la adición de Vitamina C, primero entre las muestras No. 1 y No. 2 (sin adición de hierro) el incremento fue del 33%. En el caso del fumarato ferroso (muestras No. 3 y No. 4), el incremento en hierro dializable, debido a la Vitamina C, fue del 127%, y finalmente, para el hierro reducido (muestras No. 5 y No. 6), el incremento por la Vitamina C fue del 18%. Los resultados de hemoglobina (Hb) se describen en la siguiente columna en donde se observa que la Vitamina C incrementó los valores de Hb. El valor biológico relativo del hierro (VBR) aumentó en la presencia de Vitamina C. Esta información es de interés ya que es recomendable el consumo de alimentos de alto contenido de Vitamina C con la tortilla y el frijol, para utilizar el hierro intrínscico en estos alimentos.

TABLA 6

 Descripción de muestras para estudio de la biodisponibilidad *in vitro* e *in vivo* del hierro

		Vitamina C mg/100 g	Hierro Total, mg %	Hierro Dializable % de Total	Hb %*	V.B.R. %
1	Harina Nixtamalizada de Maíz (HNM)	0.88± 0	1.74± 0.24	2.82	8.67± 1.07	36.0
2	HNM + Vit. C	86.00± 10.4	1.76± 0.26	<u>3.75</u>	<u>9.12±</u> 1.75	54.5
3	HNM + Fumarato Ferroso	0.88± 0	4.63± 0.31	3.13	11.35± 1.12	89.6
4	HNM + Fumarato Ferroso + Vit. C	77.84± 3.24	4.65± 0.37	<u>7.10</u>	<u>12.66±</u> 1.44	98.1
5	HNM + Hierro Reducido	0.89± 0	10.59± 1.17	2.97	9.44± 1.30	13.7
6	HNM + Hierro Reducido + Vit. C	86.05± 3.76	11.17± 0.69	<u>3.49</u>	<u>10.16±</u> 1.90	20.4

* Valor de Repleción. Hb inicial de repleción 6.85%.

Conclusiones

En base a los resultados obtenidos en las diferentes fases del presente estudio, se llegó a las siguientes conclusiones:

1. Se pudo observar que la Vitamina C agregada a la harina nixtamalizada de maíz (75 mg/100 g ó 100 mg/100 g) es bastante estable al almacenamiento por 90 días, a temperaturas de 25 y 35°C y a una humedad relativa que varió entre 50-60%.
2. Las recuperaciones de la Vitamina C fueron altas en la mayor parte de los estudios realizados pero nunca llegaron a ser 100% de lo agregado. Esto fue interpretado en el sentido de que no se logró optimizar el sistema de mezclado de la Vitamina C. Éste, es un aspecto que debe tomarse en consideración en el futuro. Sin embargo, puede ser una pérdida real.
3. La Vitamina C agregada a las harinas nixtamalizadas de maíz de pH 5, 6 y 7 y almacenadas hasta por 30 días, fue satisfactoriamente estable a pH 5 y 6, pero hubo una tendencia a una menor recuperación a pH 7.
4. El hierro total adicionado como fumarato ferroso fue estable a todos los pH's de las harinas (5, 6 y 7), sin embargo el hierro dializable fue menor a pH 6 y 7 que a pH 5. A pesar de esto, el hierro dializable a pH 7 fue 1.7 veces mayor que en las harinas sin el agregado de hierro o sea del hierro intrínscico de la harina.
5. Con respecto a la estabilidad de la Vitamina C al procesamiento, la información generada indicó que la Vitamina C es bastante resistente a la conversión de harina a tortilla y en una tortilla recalentada 4 y 24 h después de preparada. La Vitamina C también fue bastante estable en el tamalito (masa cocida al vapor) y fue un poco menos estable en el atol. La mayor pérdida fue de 31% en atol.
6. Se pudo demostrar *in vitro* e *in vivo* que la Vitamina C agregada a la harina nixtamalizada de maíz, con y sin hierro suplementario, favorece la biodisponibilidad del hierro.

Recomendaciones

Los resultados de los estudios efectuados indican que es recomendable fortificar las harinas nixtamalizadas de maíz con Vitamina C, ya que no afecta las características físicas y tecnológicas de las harinas y favorece la bioutilización del hierro férrico y ferroso agregado a la harina.

Bibliografía

1. International Nutritional Anemia Consultative Group. *The effect of cereals and legumes on iron availability* Report of INACG, Washington, D. C. The Nutritional Foundation, 1982
2. O'Dell, B. L. *et al.* *Distribution of phytate and nutritionally important elements among the morphological components of cereal grain* J. Ag. & Food Chem. 20: 718-721, 1972
3. Bressani, R. *et al.* *Nixtamalization effects on the contents of phytic acid, calcium, iron and zinc in the whole grain, endosperm and germ of maize* Food Sci. Tech. Int. 8: (2) 81-86, 2002.
4. Martínez-Torres, C. P. *et al.* *Iron absorption from maize bread* Food & Nutr. Bull 9: 62-69, 1987.
5. Mendoza, C. *et al.* *Effect of genetically modified, low phytic acid maize on absorption of iron from tortillas* Amer. J. Clin. Nutr. 68: 1123-1127, 1998
6. Urizar Hernández A. L. & Bressani, R. *Efecto de la nixtamalización del maíz sobre el contenido de ácido fítico, calcio y hierro total y disponible* Arch. Lat. Amer. Nut. 47: 217-223, 1997
7. Reinhold, J. G. *et al.* *Binding of iron by fiber of wheat and maize* Amer. J. Clin. Nutr. 39: 1389-1391, 1981
8. García López, S. & Wyatt, C. J. *Effect of fiber in corn tortillas and cooked beans on iron availability* J. Ag. & Food Chem. 30: 724-727, 1982
9. Bressani, R. *Chemistry technology and nutritive value of maize tortillas* Food Revs. Int. 6: 225-264, 1990
10. Hallberg, L. *et al.* *Inhibition of heme-iron absorption in man by calcium* Brit. J. Nutr. 69: 533-540, 1992
11. Hallberg, L. *et al.* *Calcium: effect of different amount on non heme and heme-iron absorption in humans* Am. J. Clin. Nutr. 53: 112-119, 1991
12. Hallberg, L. & Rossander, L. *Improvement of iron nutrition in developing countries: comparison of adding meat, soy protein ascorbic acid, citric acid and ferrous sulphate on iron absorption from a Latin American type of meal* Am. J. Clin Nutr. 39: 577-583, 1984
13. Hallberg, L. *Effect of vitamin C on the bioavailability of iron from food* in: Counsell, J. N. & Homing, D. H. (eds) *Vitamin C: ascorbic Acid* Applied Science Pub. London, 1981
14. Bjorn Rasmussen E. & Hallberg, L. *Iron absorption from maize. Effect of ascorbic acid on iron absorption from maize supplemented with ferrous sulphate* Nutr. & Metab. 16: 94-100, 1974
15. Bressani, R., *et al.* *Estabilidad química y organoléptica del hierro suplementario en harinas nixtamalizadas de maíz durante su almacenamiento* Informe Final Proyecto 68-98 CONCYT. Noviembre 2000, Guatemala

16. Dennison, D. B. & Kirk, J. R. *Effect of trace minerals fortification in the storage stability of AA in a dehydrated model system* J. Food. Sci. 47: 1198-1200,1217, 1982
17. Rizk, S. W. & Clydesdale, F. M. *Effect of iron sources and ascorbic acid on the chemical profile of iron in a soy protein isolate* J. Food Sci. 48: 1431-1435, 1983
18. Clydesdale, F. M. & Nadeau, D. B. *Effect of acid pretreatment on the stability of ascorbic acid complexes with various iron sources in a wheat flake cereal* J. Food Sci. 50: 1342-1347, 1985
19. Vojnovich, C. and Pferfer V. F. *Stability of Ascorbic Acid in Blends with wheat flour CSM and infant cereals* Cereal Science Today 15: 317-322, 1970
20. Glahn, R. et al. *In vitro digestion/Ca Co-2 cell culture model to determine optimal ascorbic acid to Fe ratio in rice cereal* J. Food. Sci. 64: 925-928, 1999
21. AOAC. Official Methods Analysis. Ass. Off. Anal. Chem. Washington D.C. Fourteenth Edition, 1984
22. Miller, D.D. et al. *An in vitro method for estimation of iron availability from meals* Amer. J. Clin Nut. 34: 2248-2256, 1981
23. Anderson, R.A., et al. *Roll and Extrusion - Cooking of Grain Sorghum Grits* Cereal Foods World 14: 372-375, 381, 1969



Ricardo Bressani
bressani@uvg.edu.gt
Doctorado (Ph.D.) en Bioquímica,
Purdue University, EEUU
Director, Centro de Estudios en Ciencia
y Tecnología de Alimentos, Instituto de
Investigaciones, UVG



Ana Silvia Colmenares de Ruiz
asruiz@uvg.edu.gt
Maestría en Ciencia y Tecnología de
Alimentos en el INCAP, Guatemala
Investigadora del Centro de Estudios en
Ciencia y Tecnología de Alimentos, Instituto
de Investigaciones y
Catedrática del Departamento de Ingeniería
en Ciencias de Alimentos y de la Maestría
en Ciencia y Tecnología de
Alimentos/Facultad de Ingeniería, UVG



Patricia Palacios de Palomo
ppalomo@uvg.edu.gt
Maestría en Ciencia y Tecnología de
Alimentos en el INCAP, Guatemala
Investigadora del Centro de Estudios en
Ciencia y Tecnología de Alimentos,
Instituto de Investigaciones y
Catedrática del Departamento de
Ingeniería en Ciencias de Alimentos y de
la Maestría en Ciencia y Tecnología de
Alimentos, Facultad de Ingeniería, UVG



Elsa Gudiel
Georgi_24@yahoo.com
Estudiante-Investigadora del Centro
de Estudios en Ciencia y Tecnología
de Alimentos, Instituto de
Investigaciones, UVG