

## Efecto del uso del hidróxido de calcio suplementado con óxido de hierro y óxido de zinc sobre la absorción, el contenido y la biodisponibilidad de Ca, Fe y Zn de la tortilla

Ricardo Bressani Castignoli† y Brenda Rodas

Centro de Estudios Agrícolas y Alimentarios, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala  
brodas@uvg.edu.gt

**RESUMEN:** Se ha estimado que la dieta en la población guatemalteca es deficiente en minerales, específicamente hierro y zinc. Esto constituye una importante limitante para el desarrollo de los individuos y de la sociedad. A fin de dar una solución viable a esta realidad, se buscó establecer si la adición de minerales, específicamente hierro y zinc, a la cal utilizada en el proceso de nixtamalización, permite su transferencia hacia el interior del grano de maíz. Se utilizaron variedades e híbridos de maíz de la costa y del altiplano de Guatemala y una muestra de maíz de alto valor proteico HSQ3 - *Quality Protein Maize* (QPM, por sus siglas en inglés). A las muestras se le sometió a un proceso de nixtamalización estandarizado el cual fue utilizado en este estudio como vehículo de fortificación de los minerales hierro, calcio y zinc, obteniéndose como resultado una respuesta positiva en cuanto a la transferencia de estos minerales hacia el interior del grano de maíz. Los minerales estudiados se depositaron en mayor cantidad en la fracción del germen, seguida de la fracción del pericarpio y por último en la del endospermo. Se estableció que es factible la fortificación del grano de maíz mediante el proceso de cocción térmico alcalino propuesto, sin embargo, se estimó que el nivel de incorporación de los minerales no es predecible por lo que hay que ahondar en futuras investigaciones. Sin embargo, se puede generalizar que este proceso es un vehículo posible para la fortificación de minerales, específicamente de calcio, hierro y zinc.

**PALABRAS CLAVE:** maíz, nixtamalización, fortificación, hierro, zinc, calcio, hidróxido de calcio, QPM.

**Effect of the use of calcium hydroxide supplemented with iron oxide and zinc oxide on the absorption, content and bioavailability of Ca, Fe and Zn from the tortilla**

**ABSTRACT:** It has been estimated that the diet in the Guatemalan population is deficient in minerals, specifically iron and zinc. This is an important limitation for the development of individuals and society. In order to provide a viable solution to this problem, the addition of minerals, specifically iron and zinc to lime used in the process of nixtamalization, could cause their transfer to the interior of the corn kernel. Maize varieties and hybrids from the coast and highlands of Guatemala were used and a sample of high protein corn HSQ3 - *Corn protein quality* (QPM). The samples were subjected to a standardized nixtamalization process that was used in this study as a vehicle for fortification of the minerals iron, calcium and zinc, obtaining as a result a positive response regarding the transfer of these minerals into the corn grain. The minerals studied were deposited in greater quantity in the germ fraction, followed by the pericarp fraction and finally in that of the endosperm. It was established that corn grain fortification was feasible, however, the fortification amounts were not predictable, hence, future tests are needed. However, it can be generalized that this process is a good vehicle for the corn fortification with minerals, specifically calcium, iron and zinc.

**KEYWORDS:** maize, nixtamalization, fortification, iron, zinc, calcium, calcium hydroxide, QPM.

## Introducción

De acuerdo con el análisis realizado interinstitucionalmente en septiembre de 2016, de la situación y tendencias de los micronutrientes clave en Guatemala, se estimó que la dieta en la población guatemalteca era deficiente en minerales, específicamente hierro y zinc. Asimismo, se estableció que dichas deficiencias a nivel poblacional, constituían una importante limitante para el desarrollo de los individuos y de la sociedad, lo cual contribuía a incrementar los problemas de desnutrición, pobreza y subdesarrollo (INCAP, USAID, FANTAI, 2016)

Si bien es cierto, que Guatemala ha sido pionera en la región en cuanto a formular políticas públicas de fortificación de alimentos (Decreto No. 44-92; Acuerdo Gubernativo 298-2015), aún se reportan deficiencias de hierro y zinc en la población, especialmente en niños y niñas y mujeres en gestación. Según el análisis de la *Encuesta nacional de micronutrientes ENMICRON 2009-2010* analizada por el Ministerio de Salud y Asistencia Social (MSPAS) se evidencia la prevalencia de deficiencia de hierro medido con el indicador ferritina, (MSPAS, 2012). En cuanto al zinc, se evidencia la prevalencia de deficiencia de zinc plasmático en niños menores de 5 años, estableciendo que la deficiencia es alta en todos los grupos etarios menores de cinco años tanto en población indígena como no indígena (MSPAS, 2012).

Ante esta problemática, el abordaje de las políticas públicas en Guatemala, han impulsado la fortificación de alimentos con hierro y zinc con micronutrientes múltiples en polvo (MNP), de productos finales como tabletas o cápsulas, en mezclas con harinas fortificadas y en alimentos procesados. Sin embargo, existen limitantes en cuanto al acceso de estos productos fortificados ya que las familias más pobres, solamente consumen los alimentos que ellos mismos producen, principalmente frijol y maíz, mientras que algunas familias se encuentran en infrasubsistencia.

A fin de dar una solución viable a esta realidad, se postuló la posibilidad de fortificar la tortilla a través de la adición de minerales, en particular el hierro y el zinc, a la cal empleada para la nixtamalización; debido a que dicha técnica es una práctica muy antigua de procesar el maíz, obteniendo como producto masa y tortillas, que se consumen a veces como único alimento diario (Bressani, 2007-Fodecyl, 082-2007).

Algunos datos prácticos estiman que la ingesta diaria de tortilla por adultos en Guatemala es del orden de 350 g/persona/día y para menores de edad la ingesta diaria llega a niveles de 150 o 200 g/persona/día, por lo que el consumo de tortilla puede ser un vehículo práctico para proporcionar nutrientes deficientes en la dieta del guatemalteco (Bressani, 2007-Fodecyl, 082-2007.).

Por otro lado, los efectos de la cocción del maíz con cal han sido objeto de numerosos estudios, desde tiempo atrás (Serna et al, 1991-1992, Bressani, 1990, Urizar y Bressani, 1997,

Pérez, et al, 1983), en ellos se afirma que la cocción termo-alkalina ayuda a destruir el pericarpio del grano de maíz, lo cual aumenta la concentración de cal en el endospermo y el germen, que según Bressani et al. (2002) y Fernández et al. (2004), hace de la tortilla una fuente importante de calcio. Adicionalmente a esto, otros estudios confirmaron que la alcalinidad era la responsable de un aumento de la biodisponibilidad de otros nutrientes como niacina, aunque también se le atribuyó la destrucción de algunas vitaminas como el complejo B y carotenos (Kodicek, et al. 1959, Bressani et al. 1958). A lo anterior, se suma una disminución del contenido de fibra presente en la cáscara del grano de maíz, así como pérdidas menores de aminoácidos esenciales como lisina (Bressani, 2007-Fodecyl, 082-2007).

Con respecto al calcio retenido en la tortilla, autores como Braham y Bressani (1966) Poneron y Erdman, (1988) Serna et al. (1991-1992) afirman que el calcio es altamente biodisponible, sin embargo, existe un problema en cuanto a la biodisponibilidad de hierro en maíz, debido a que este último posee niveles muy altos de ácido fítico que tiende a ligar este mineral dificultando su biodisponibilidad, sin embargo, algunos estudios anteriores reportaron resultados positivos según varios enfoques de fortificación (Martínez et al. 1997, Bressani, 1997, Bressani et al. 2005).

Por otro lado, se puede asumir con bastante certeza que, si compuestos como el óxido de hierro y el óxido de zinc son retenidos en el maíz nixtamalizado, la biodisponibilidad de ambos se vería favorecida por la adición de ácido ascórbico o de un alimento rico en esa vitamina (Bressani, 2007-Fodecyl, 082-2007; Bressani et al. 2005; Bernardi et al. 2004).

En este trabajo se presentan resultados experimentales de la adición de minerales, específicamente hierro y zinc, a la cal utilizada en el proceso de nixtamalización, y su transferencia hacia el interior del grano de maíz.

## Materiales y métodos

### Maíz

Se utilizaron muestras de maíz de la costa y del altiplano de Guatemala, y una muestra de maíz QPM (Proticta) proporcionado por ICTA, Bárcenas. Las variedades e híbridos de maíz trabajadas fueron: Testigo HS-19R, HSQ-3 (QPM), Blanco Dekalb, Amarillo Dekalb, Blanco Chimaltenango, Amarillo Chimaltenango y Negro Chimaltenango.

### Metodología

Para realizar las diferentes evaluaciones se partió del grano de maíz entero y desgranado en sus diferentes variedades. Se procedió a limpiarlo de impurezas físicas y se almacenó en frío a 10°C hasta su uso posterior.

## Nixtamalización

El proceso de nixtamalización se desarrolló a nivel de laboratorio, pesando 100 g de muestra por triplicado. Después de lavar las muestras, se trasladaron a un recipiente adecuado y se adicionó agua destilada en relación (3:1) agua: maíz, luego se agregó cal al 1 %, en base al peso de la muestra inicial. Posteriormente se llevó a ebullición por un período de 60 minutos, para después dejarlo en reposo durante 12-14 horas. Se lavó el nixtamal tres veces con agua destilada y se aplicó el proceso de secado y molienda para posteriormente ser analizado en su contenido de calcio, hierro y zinc. Esta muestra se identificó como muestra control.

## Nixtamalización con incorporación de hierro y zinc

El hierro y el zinc, se incorporaron durante el proceso de nixtamalización antes mencionado, utilizando cinco niveles de concentración de óxido de hierro, 0, 0.25, 0.30, 0.50 y 0.75 mg por 100 g de muestra, los cuales corresponden a 0, 0.19, 0.23, 0.39 y 0.58 mg de hierro respectivamente; y cinco niveles de óxido de zinc 0, 0.25, 0.30, 0.50 y 0.75 mg por 100 g de muestra, equivalentes a 0, 0.20, 0.24, 0.40 y 0.60 mg de zinc por 100 g de muestra. El nivel del calcio se mantuvo al 1 %. Se prosiguió con el período cocción, reposo y lavado. Posteriormente la muestra se separó en dos submuestras equivalentes al 25% y 75 % del total del producto nixtamalizado. La submuestra correspondiente a 25 % fue secada, molida y almacenada para su posterior análisis. La submuestra correspondiente al 75 % del total de muestra nixtamalizada, fue procesada manualmente, separando endospermo, germen y pericarpio, las que fueron almacenadas hasta su posterior análisis.

## Molienda

La molienda de las muestras de maíz de cada variedad tanto en crudo como nixtamalizadas, se realizó en un molino tipo ciclón (*Cyclone Sample Mill; UDY corporation Fort, Collins, Colorado USA, model 3010-030*) para obtener harinas de partícula uniforme de malla 60.

## Secado

El secado de las muestras nixtamalizadas se realizó en un deshidratador de alimentos de aire caliente (*NESCO American Harvest, Garden Master Food Dehydrator and 10 Jerky Maker*) a temperatura controlada (75°C)

Las variables de respuesta del estudio fueron las concentraciones de hierro y zinc en la muestra, la biodisponibilidad de estos minerales en las muestras y el puntaje de aceptabilidad.

## Análisis químicos

Se practicó el análisis químico centesimal a cada una de las muestras de maíz nixtamalizado y sin nixtamalizar, como punto de partida para evaluar el grado de incorporación de los elementos hierro y zinc durante el proceso de nixtamalizado que incluyeron humedad (AOAC 14.003), extracto etéreo (AOAC 7.062), proteína Kjeldahl (AOAC 7.015) cenizas, fibra cruda y carbohidratos, por diferencia. Se realizó también el mismo estudio para las fracciones del maíz, es decir, para el pericarpio, el germen, y el endospermo, nixtamalizado y sin nixtamalizar en base seca, para determinar el porcentaje de migración del hierro y el zinc hacia las fracciones antes mencionadas. Los análisis se realizaron en triplicado. El contenido de minerales se obtuvo aplicando el método de absorción atómica (AOAC 3.013), y la determinación de vitamina C se basó en el método sugerido (AOAC, 43.064).

## Análisis estadístico

Los datos experimentales se procesaron con métodos de estadística descriptiva utilizando EXCEL.

## Resultados y discusión

Los resultados de los análisis de las variedades de maíz y de los maíces nixtamalizados se encuentran en las Tablas 1 y 2, respectivamente. Es pertinente resaltar el contenido relativamente alto de proteína de los maíces del altiplano y que se observa también en el producto nixtamalizado.

Tabla 1. Análisis proximal de maíces crudos en base seca

Variedad de Maíz	Carbohidratos (%)	Humedad (%)	Proteína (%)	Grasas (%)	Cenizas (%)
Testigo HS-19R	74.83	10.61 ± 0.01	7.41 ± 0.01	3.72 ± 0.28	1.43 ± 0.04
HSQ-3 QPM	73.64	10.72 ± 0.16	8.19 ± 0.19	3.83 ± 0.12	1.71 ± 0.05
Blanco Dekalb	72.26	10.98 ± 0.35	9.31 ± 0.15	3.89 ± 0.06	1.42 ± 0.02
Amarillo Dekalb	70.77	11.92 ± 0.09	9.81 ± 0.26	4.66 ± 0.18	1.28 ± 0.03
Blanco Chimaltenango	71.56	11.10 ± 0.09	9.87 ± 0.52	4.49 ± 0.11	1.42 ± 0.09
Amarillo Chimaltenango	71.04	9.58 ± 0.38	11.32 ± 0.30	5.22 ± 0.23	1.44 ± 0.02
Negro Chimaltenango	72.16	9.98 ± 0.23	10.40 ± 0.08	4.63 ± 0.19	1.46 ± 0.27
Promedio	72.32	10.69	9.47	4.34	1.45

**Tabla 2.** Análisis proximal de maíces nixtamalizados de distinta variedad (%)

Variedad de Maíz	Carbohidratos	Humedad (%)	Proteína (%)	Grasas (%)	Cenizas (%)
Testigo HS-19R	79.49 ± 0.62	6.52 ± 0.25	8.19 ± 0.36	4.19 ± 0.34	1.61 ± 0.05
HSQ-3 QPM	79.34 ± 1.35	5.54 ± 0.06	9.14 ± 0.21	4.16 ± 0.99	1.91 ± 0.10
Blanco Dekalb	79.21 ± 0.28	6.18 ± 0.09	9.30 ± 0.40	4.10 ± 0.04	1.21 ± 0.01
amarillo Dekalb	79.50 ± 0.19	4.28 ± 0.10	10.15 ± 0.50	4.88 ± 0.23	1.19 ± 0.02
Blanco Chimaltenango	77.23 ± 0.66	7.88 ± 0.24	8.79 ± 0.54	4.77 ± 0.35	1.33 ± 0.03
Amarillo Chimaltenango	74.45 ± 0.58	8.61 ± 0.30	10.48 ± 0.42	5.10 ± 0.05	1.36 ± 0.01
Negro Chimaltenango	75.17 ± 0.32	7.92 ± 0.49	10.60 ± 0.50	5.05 ± 0.16	1.27 ± 0.04
Promedio	77.77	6.70	9.52	4.60	1.41

**Tabla 3.** Contenido de hierro, calcio, zinc y fósforo en maíces crudos de distinta variedad reportado como mg/100g de muestra seca (mg/100 g muestra)

Variedad de Maíz	Zinc (mg/100g)	Hierro (mg/100 g)	Calcio (mg/100g)	Promedio P fitato (mg/g)
Testigo HS-19R	2.95 ± 0.20	3.11 ± 0.20	7.41 ± 0.01	1.35 ± 0.11
HSQ-3 QPM	3.42 ± 0.08	3.89 ± 0.80	8.19 ± 0.19	1.36 ± 0.10
Blanco Dekalb	1.49 ± 0.04	1.52 ± 0.02	9.31 ± 0.15	0.85 ± 0.19
Amarillo Dekalb	1.34 ± 0.04	1.35 ± 0.04	9.81 ± 0.26	0.95 ± 0.19
Blanco Chimaltenango	1.66 ± 0.02	3.65 ± 0.05	9.87 ± 0.52	1.48 ± 0.13
Amarillo Chimaltenango	1.61 ± 0.01	3.45 ± 0.08	11.32 ± 0.30	1.60 ± 0.06
Negro Chimaltenango	1.77 ± 0.25	3.52 ± 0.68	10.40 ± 0.08	1.47 ± 0.17

**Tabla 4.** Contenido de hierro, calcio, zinc y fósforo en maíces nixtamalizados de distinta variedad reportados como mg/100g de muestra seca

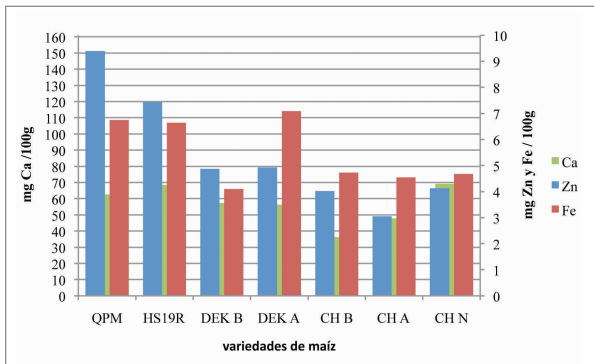
Variedad de Maíz	Zinc (mg/100g)	Hierro (mg/100 g)	Calcio (mg/100g)	Promedio P fitato (mg/g)
Testigo HS-19R	8.79 ± 0.05	3.71 ± 0.65	62.93 ± 0.94	1.08 ± 0.79
HSQ-3 QPM	13.52 ± 0.60	4.25 ± 0.25	71.21 ± 0.69	1.76 ± 0.19
Blanco Dekalb	3.11 ± 0.22	3.60 ± 1.07	158.0 ± 15.91	0.43 ± 0.17
Amarillo Dekalb	3.47 ± 0.04	3.05 ± 0.21	156.63 ± 0.57	0.74 ± 0.15
Blanco Chimaltenango	3.17 ± 0.00	4.42 ± 0.24	113.00 ± 0.97	1.34 ± 0.07
Amarillo Chimaltenango	3.32 ± 0.07	4.74 ± 0.07	116.01 ± 4.51	1.50 ± 0.29
Negro Chimaltenango	2.98 ± 0.07	4.10 ± 0.07	125.91 ± 0.65	0.87 ± 0.34

Se evaluó también el contenido en los macices crudos como nixtamalizados de los minerales presentes, calcio, hierro y zinc, y el de ácido fítico en forma de fósforo fitato por su importancia nutricional ya que tiene gran capacidad de ligar el hierro y no permite que sea biodisponible. Los resultados se presentan en las Tablas 3 y 4. Como era de esperarse, el contenido de calcio aumentó considerablemente después de ser sometidos los granos de maíz al proceso de nixtamalización, observándose también un incremento en el contenido de hierro y zinc.

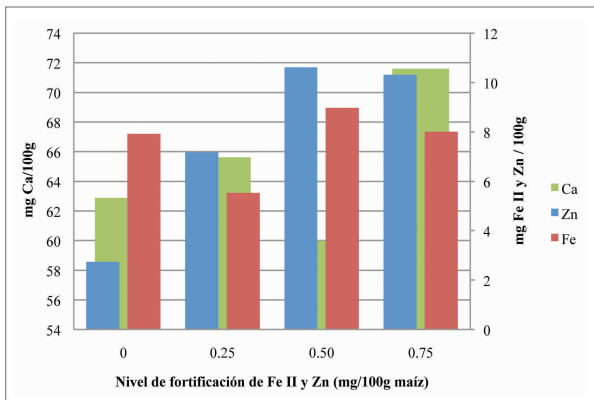
Para lograr la estandarización del método de nixtamalización con fortificación de hierro y zinc, primero se estableció el nivel

de calcio adecuado, que permitiera la transferencia hacia el grano de maíz, tanto de los iones calcio provenientes de la cal como de los iones de hierro y zinc adicionados, ya que estos compiten entre sí.

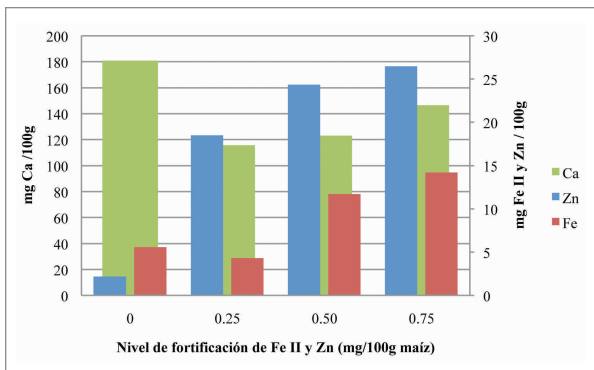
Para este propósito, se repitió el proceso sugerido de nixtamalización, esta vez utilizando varios niveles de cal y realizando curvas de adición a cinco niveles de hierro y zinc en relación (1:1), encontrándose que la mejor combinación fue a un nivel fijo de cal del 1 % para la relación (1:1) de hierro y zinc. Se utilizó una muestra de maíz sin nixtamalizar como comparador de resultados.



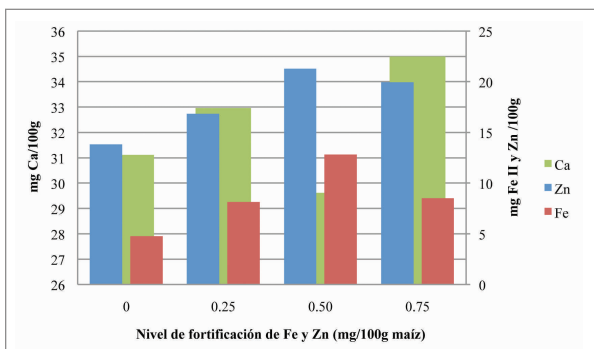
Gráfica 1. Niveles de incorporación de hierro, calcio y zinc (mg Fe y Zn/100g muestra) durante el proceso de nixtamalización para todas las variedades de maíz estudiadas



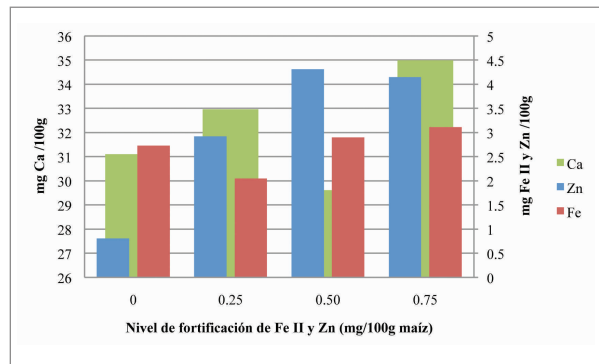
Gráfica 2. Niveles de incorporación de hierro, calcio y zinc (mg Fe, Ca y Zn/100 g de muestra) durante el proceso de nixtamalización de la variedad HSR-19-R para el grano entero



Gráfica 3. Niveles de incorporación de hierro, calcio y zinc (mg Fe, Ca y Zn/100 g de muestra) durante el proceso de nixtamalización de la variedad HSR-19-R para el pericarpio del grano



Gráfica 4. Niveles de incorporación de hierro, calcio y zinc (mg Fe, Ca y Zn/100 g de muestra) durante el proceso de nixtamalización de la variedad HSR-19-R para el germen del grano



Gráfica 5. Niveles de incorporación de hierro, calcio y zinc (mg Fe, Ca y Zn/100 g de muestra) durante el proceso de nixtamalización de la variedad HSR-19-R para el endospermo del grano

Para la selección del fortificante se estimó la mejor combinación de cuatro compuestos de hierro con el óxido de zinc, observándose variabilidad en la incorporación para todas las variedades estudiadas. La Gráfica 1 muestra esquemáticamente el resultado de los diferentes niveles de incorporación para el calcio, el hierro y el zinc, después de realizar este procedimiento a todas las variedades de maíz estudiadas.

Se estudiaron también los niveles de transferencia de estos minerales en las fracciones del maíz, es decir, el germen, el endospermo y el pericarpio. La Tabla 5 muestra el contenido de hierro calcio y zinc en las fracciones del grano de maíz crudo en todas las variedades estudiadas. Claramente se observa en todas las variedades el contenido mayor de los minerales en el germen.

Para fines prácticos, se seleccionó una variedad representativa, la HSR-19 para aplicarle el proceso de nixtamalización con fortificación de hierro y zinc, evaluando sus partes fraccionarias y el efecto de incorporación de estos minerales a cada parte estructural del grano de maíz.

Las Gráficas 2, 3, 4 y 5 muestran claramente el comportamiento de la fortificación de los granos de maíz y sus partes estructurales con respecto al agregado de iones hierro calcio y zinc durante el proceso de nixtamalización. Se observa que sí existe una transferencia de iones calcio, hierro y zinc durante el proceso y se muestra también el efecto de la competencia que estos iones ejercen mientras están el proceso, para una variedad representativa. En las gráficas, se observa que a nivel cero de fortificación, el valor de la concentración de calcio aumenta considerablemente, y a medida que se aumenta la concentración de hierro y zinc durante el proceso de cocción, el nivel de calcio disminuye mientras que los niveles de hierro y zinc se posicionan a niveles más altos para cada una de las fracciones del grano de maíz. Sin embargo, el nivel de incorporación no es predecible y parece existir un antagonismo en la retención de los tres minerales en las partes estructurales del grano en cualquiera de las variedades en estudio. Debido a esto no es recomendable, a priori, un proceso de fortificación como el indicado, hasta ahora.



**Tabla 5.** Contenido de hierro, calcio y zinc en las fracciones de maíces crudos de distinta variedad en base seca (mg/100g muestra)

Variiedad de Maíz	Zinc (mg/100g)	Hierro (mg/100g)	Calcio (mg/100g)
<b>Testigo HS-19R</b>			
Pericarpio	1.82 ± 0.83	2.99 ± 0.17	28.48 ± 0.66
Germen	9.74 ± 0.07	6.15 ± 0.07	27.21 ± 0.50
Endospermo	0.92 ± 0.04	1.43 ± 0.00	11.52 ± 0.20
<b>HSQ-3 (QPM)</b>			
Pericarpio	2.11 ± 0.13	2.63 ± 0.00	8.91 ± 0.21
Germen	11.15 ± 0.12	5.88 ± 0.23	22.46 ± 3.21
Endospermo	1.14 ± 0.03	1.62 ± 0.18	21.38 ± 0.02
<b>Blanco Dekalb</b>			
Pericarpio	1.31 ± 0.02	1.61 ± 0.42	32.38 ± 1.73
Germen	12.66 ± 0.16	11.39 ± 0.42	27.91 ± 4.07
Endospermo	0.68 ± 0.00	1.47 ± 0.02	8.53 ± 0.59
<b>Amarillo Dekalb</b>			
Pericarpio	0.60 ± 0.00	2.16 ± 0.25	4.75 ± 0.04
Germen	9.19 ± 0.15	8.33 ± 1.10	17.66 ± 0.03
Endospermo	0.83 ± 0.03	2.53 ± 0.57	17.91 ± 0.29
<b>Blanco Chimaltenango</b>			
Pericarpio	2.00 ± 0.01	3.23 ± 0.24	34.32 ± 0.34
Germen	8.90 ± 0.19	8.82 ± 0.18	19.33 ± 0.42
Endospermo	1.22 ± 0.18	2.80 ± 0.08	10.45 ± 0.38
<b>Amarillo Chimaltenango</b>			
Pericarpio	1.37 ± 0.00	3.83 ± 0.12	35.04 ± 0.12
Germen	8.99 ± 0.12	10.51 ± 0.00	18.24 ± 0.44
Endospermo	0.54 ± 0.01	5.08 ± 0.28	7.02 ± 0.08
<b>Negro Chimaltenango</b>			
Pericarpio	1.67 ± 0.83	3.91 ± 0.02	39.65 ± 0.64
Germen	8.23 ± 0.04	8.20 ± 0.18	14.90 ± 1.70
Endospermo	0.60 ± 0.01	1.14 ± 0.03	5.58 ± 0.19

Se estableció que el causal de las diferencias encontradas, se debe en un primer término, a la calidad del maíz estudiado, siendo sus características estructurales las que juegan un rol importante en la fijación de estos minerales y, por ende, se ve afectada directamente la capacidad de penetración de los iones de estos minerales a las diferentes estructuras del grano.

Se hace necesario ensayar diferentes concentraciones de hierro y zinc, así como otros compuestos de hierro. El proceso mismo es otra variable no ahondada en este estudio, pero es probable que tiempos de cocción y de remojo más largos afecten las retenciones de los tres minerales.

Por otro lado, para contrarrestar el efecto del ácido fitico presente en los granos de maíz, se verificó la biodisponibilidad inducida por la vitamina C el cual se midió mediante un ensayo de

suplementación con la vitamina durante el proceso de nixtamalización y otro mediante la suplementación de la vitamina C en la masa obtenida como producto de la molienda del grano nixtamalizado. De los resultados obtenidos en ambas fases, se concluyó que la adición de la vitamina C como parte del proceso de nixtamalización, no reportó resultados satisfactorios, por lo que se hace necesario ensayar los tiempos de adición, así como las concentraciones de la vitamina.

Por otro lado, se ha confirmado que el contenido de minerales, hierro, calcio y zinc, de las muestras trabajadas con la adición de vitamina C a la masa, aumentan un 4 % su valor con respecto a las muestras con ausencia de esta vitamina con lo que se presume que exista un aumento en la biodisponibilidad de estos nutrientes.

## Conclusiones

La incorporación de óxido de hierro y óxido de zinc al proceso de nixtamalización, aumentó los valores de estos minerales en relación a su contenido original.

En los distintos niveles de incorporación de hierro y zinc (0.25%, 0.50% y 0.75%); no se obtuvo una constancia de incorporación en cada fracción del maíz, pero si se puede generalizar que los minerales se depositaron en mayor cantidad en la fracción del germen seguida en la fracción del pericarpio y por último en el endospermo.

Se reconoce que con solo la adición del hierro y del zinc a la tortilla, no se resuelve el problema nutricional de estos micronutrientes, ya que se debe tomar en cuenta la biodisponibilidad de estos minerales, específicamente del hierro, que puede mejorarse con la adición de vitamina C al producto final, o con la combinación de alimentos ricos en este nutriente puesto que las muestras trabajadas con la adición de vitamina C, aumentan un 4 % su valor con respecto a las muestras con ausencia de esta vitamina con lo que se presume que exista un aumento en la biodisponibilidad de estos nutrientes.

## Agradecimientos

A la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología-SENACYT- por el apoyo financiero dentro del Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología, -FONACYT-, para el proyecto FODECYT 082-2007. Al equipo técnico del Centro de Estudios Agrícolas y Alimentarios, Ing. Elsa Gudiel, Sr. Carlos Arias y Sr. Víctor Chajón.

## Bibliografía

- AOAC (1984) Association Official Analytical Chemists. 14 th. Ed. Washington, D.C.
- AOAC (1984) *Vitamin C (Ascorbic Acid) In: Vitamin preparations and Juices 2,6-Dichloroindophenol Titrimetric Method.* 43.064. 14th. Ed. Washington D.C.
- AOAC (1984) *Metals in plants. Atomic Absorption Spectrophotometric Method.* 3.013 14th Ed. Washington D.C.
- AOAC (1984) *Solids (Total) and Moisture in Fluor. Vacuum Oven Method.* 14.003 14th Ed. Washington D.C.
- AOAC (1984) *Fat (Crude) or Ether Extract in Animal Feed.* 7.062 14th Ed. Washington D.C.
- AOAC (1984) *Protein (Crude) in Animal Feed. Kjeldahl Method.* 7.015 14th Ed. Washington D.C.
- Bernardi, C., Freyre, M., Sambucetti, M. Pirovani, M.E. (2004) *Use of ascorbic acid and citric acid to increase dialyzable iron from vital (Prosopisruscifolis) pulp Plant Food for Human Nutrition* 59:175-179.
- Boccio, J., Monteiro, J.B. (2004) *Fortificación de alimentos con hierro y zinc: pros y contras desde un punto de vista alimenticio y nutricional Revista de Nutrição*, 17 (1): 71-78.
- Bonilla A.I. (2016) *Fortificación de alimentos en Centroamérica y el Caribe. Recopilación bibliográfica* Universidad de Costa Rica. Recuperado de: <http://ilsimesoamerica.org/wp-content/uploads/sites/14/2016/08/Monograf%C3%ADa-Fortificaci%C3%B3n-de-alimentos-para-Centroam%C3%A9rica-y-el-Caribe.pdf>
- Braham, J.E., Bressani R. (1966) *Utilización del calcio del maíz tratado con cal Nutr. Bromatol. Toxicol.* 5:14-19.
- Bressani, R., Scrimshaw, N.S. (1958) *Effect of lime treatment on in vitro availability of essential amino acids and solubility of protein fractions in corn J. Agri. Food Chem.* 6:774-778.

- Bressani, R., Paz y Paz R., Scrimshaw N.S. (1958) *Corn Nutrients losses. Chemical changes in corn during preparation of tortilla J. Agri. Food Chem.* 6:770-774.
- Bressani, R. (2007) *Efecto del uso del hidróxido de calcio suplementado con óxido de hierro y óxido de zinc sobre la absorción, el contenido y la biodisponibilidad de Ca, Fe y Zn de la tortilla FODECYT 082-2007.*
- Bressani, R. (1997) *Nutritional Quality of nixtamalized corn masa flour. Achievement through fortification with micronutrients. A Literature and Industry Experiences Review Sustain Dec.*
- Bressani, R. (1990) *Chemistry, technology and nutritive value of maize tortillas Food Reviews International* 6: 225-264.
- Bressani, R., Turcios, J.C., Ruiz, A.S.C. (2002) *Nixtamalization effects on the content of phytic acid, calcium, iron and zinc in the whole grain, endosperm and germ of 11 maize varieties Food Science and Technology International* 8:81-86.
- Bressani, R., Colmenares de Ruiz, A.S., Palacios de Palomo, P., Gudiel, E. (2005) *Estabilidad en almacenamiento y procesamiento de vitamina C y biodisponibilidad del hierro suplementario a la harina de maíz Revista de la Universidad Del Valle de Guatemala No. 14, 16-30.*
- Bressani, R. (2008) *Cambios nutrimentales en el maíz inducidos por el proceso de nixtamalización En: Nixtamalización del maíz a la tortilla. Aspectos nutrimentales y toxicológicos Universidad Autónoma de Querétaro, México.*
- Fernández Muñoz, J.L. Rojas-Molina, I., Gonzáles-Dávalos, M.L., Leal, M., Valtierra, M.E., San Martín-Martínez, E., Rodríguez, M.E. (2004) *Study of calcium ion diffusion in components of maize kernels during traditional nixtamalization process Cereal Chemistry* 81:65-69.
- INCAP (1969) *Evaluación Nutricional de la Población de Centroamérica y Panamá INCAP. Guatemala.*
- Kodicek, E., Braude, R., Kon, S.K., Mitchell, K.G. (1959) *The availability to pigs of nicotinic acid tortilla baked from maize treated with lime-water British Journal of Nutrition* 13:363-384.
- Martinez-Torres, C., Taylor, P., Leets, I., Tropper, E., Ramirez, J. (1997) *Iron absorption from maize bread Food and Nutrition Bulletin* 9:62-69.
- Mazariegos, M. (2016) *Análisis de la situación y tendencias de los micronutrientes clave en Guatemala, con un llamado a la acción desde las políticas públicas FANTA FHI 360-USAD-INCAP.*
- MSPAS (2015) *Reglamento para la Fortificación con micronutrientes de la harina de maíz nixtamalizado Acuerdo Gubernativo 298-2015.*
- MSPAS (2012) *Encuesta Nacional de Micronutrientes ENMICRON 2009-2010.*
- MSPAS-INCAP (1992) *Decreto No. 44-92. Ley General de Enriquecimiento de alimentos.*
- Pérez-López, O., Saharopulus-Paredes, M.E. (1983) *Maize: a review of tortilla production technology Baker Digest* 57: 16-25.
- Poneros, A.G., Erdman, J.W. (1988) *Bioavailability of calcium from tofu, tortillas, dry milk and mozzarella cheese in rats. Effect supplemented ascorbic acid Journal of Food Science* 53: 208-210.
- Serna-Saldivar, S. O., M.H.Gomez, A.R. Islas-Rubio, A.J. Bockholt and L.W. Rooney. (1992) *The alkaline processing properties of quality protein maize Chapter 16 In: Quality Protein Maize E.T. Mertz (ed.) St. Paul MN: Amer Assoc. Cereal Chem.*
- Serna-Saldivar, S.O., Rooney L.W., Greene L.W. (1991) *Effect of lime treatment on the availability of calcium in diets of tortillas and beans. Rat growth and balance studies Cereal Chemistry* 68:565-570
- Serna-Saldivar, S.O., Rooney L.W., Greene L.W. (1992) *Effect of lime treatment on the availability of calcium in diets of tortillas and beans. Bone and plasma composition in rats Cereal Chemistry* 69:78-81.
- Serna-Saldivar, S.O. Almeida Dominguez, H.D. and Rooney LW (1991) *A method to evaluate ease of pericarp removal during lime cooking of corn Crop Science* 31: 842-844.
- Serpa-Guerra, A.M., Vélez-Acosta, L.M., Barajas-Gamboa, J.A., Castro-Herazo, C.I., Gallego-Zuluaga, R. (2016) *Compuestos de hierro para la fortificación de alimentos: El desarrollo de una estrategia nutricional indispensable para países en vía de desarrollo. Una revisión Acta Agronómica* 65(4): 340-353.
- Urizar, A.L., Bressani, R. (1997) *Efecto de la nixtamalización del maíz sobre el contenido de ácido fítico, calcio, hierro total y disponible Archivos. Latinoamericanos de Nutrición* 47: 217-223.