

Efecto de la nixtamalización del maíz sobre el contenido de ácido fítico, calcio y hierro total y disponible

A.L. Urizar Hernández¹ y R. Bressani²

RESUMEN. El presente estudio se llevó a cabo con el propósito de conocer el efecto del proceso de nixtamalización del maíz sobre el contenido de ácido fítico y de hierro disponible en el nixtamal (maíz cocido con cal). Para el estudio se cocinaron lotes de maíz con 0-0,4-0,8 y 1,2% de cal en base al peso de maíz, en agua en una relación de 3 a 1 por tiempos de cocción a cada nivel de cal 55, 65 y 75 minutos. La mitad de los tratamientos no se les permitió el remojo después de la cocción y a la otra mitad se les dio 12 horas de remojo. Los análisis estadísticos y correlaciones mostraron que el contenido de ácido fítico disminuyó significativamente durante el proceso de nixtamalización; afectado por el tiempo de cocción y el nivel de cal, alcanzando valores de reducción de un 35%. Tanto el hierro ionizable como el contenido de calcio aumentaron en un 52-77% y hasta un 400-478%, respectivamente. La cantidad de calcio presente como resultado de la nixtamalización es tan alta en comparación con el contenido de ácido fítico que éste pudo ser fácilmente saturado, evitando así su combinación con el hierro. Se encontró una relación inversa proporcional entre el ácido fítico y el contenido de hierro iónico posiblemente biodisponible y el porcentaje de absorción del mismo. Por el contrario, el tiempo de remojo no presentó ningún efecto significativo sobre los resultados aunque se indujo una mayor acumulación de calcio. Se concluye que el proceso de nixtamalización favorecería la utilización del hierro en el maíz nixtamalizado y aumenta el aporte de calcio en la dieta.

SUMMARY. The effect of lime cooking of corn on the phytic acid, calcium, total and ionizable iron content. The present study was carried out with the objective to learn about the effect of the nixtamalization process of corn on the content of phytic acid and availability of iron in the lime-cooked corn. For the study, lots of corn with 0, 0.4, 0.8 and 1.20% of lime on the basis of corn weight, in water in the ratio of 3 to 1, and cooking times at each level of lime of 55, 65 and 75 minutes, were processed. Half of the treatments were not soaked after cooking, while the other half were soaked in the cooking solution for a 12-hour period.

Statistical analysis of the data and correlations calculated showed that the phytic acid content decreased significantly during the nixtamalization process, affected by the cooking time and the level of lime used, reaching levels of reduction of around 35%. Both the ionizable iron and calcium level increased up to 52-77% and 400-478% respectively. The amount of calcium present in the cooked corn as the result of the lime cooking process, is significantly higher in comparison with the phytic acid content, which may be easily saturated and thus, unavailable to bind iron.

An inverse relationship was found between phytic acid and bioavailable iron and its absorption percentage. On the other hand, soaking time did not significantly affect the phytic acid and available iron, although it contributed to a slightly higher Ca accumulation. The amount of ionizable iron was higher at higher levels of lime, which suggested that the nixtamalization process would favor the biological utilization of iron in lime-cooked corn and provide calcium to the diet.

INTRODUCCION

El maíz constituye un alimento de gran importancia en la alimentación y nutrición de la población en América Latina. En algunos países su consumo es como tortilla, un alimento producido a nivel del hogar y a nivel industrial, a través de la cocción del grano de maíz utilizando hidróxido de calcio. Este proceso se conoce en la actualidad como proceso de nixtamalización (1,2).

La transformación del grano de maíz en masa y luego en tortilla y en otros alimentos, producidos de la masa o de la harina, induce cambios tanto en los aspectos físicos y químicos del grano, como en aspectos nutricionales. (1,2). Desde el punto de vista físico el proceso de nixtamalización ayuda a la eliminación de la cáscara del maíz, reduciendo de esta manera la cantidad de fibra dietética. (3,4,5). Asimismo, la cocción induce una gelatinización parcial de los almidones (6,5) y también induce cambios en la solubilidad de la proteína, afectando significativamente la de las prolaminas (8,9). Durante el

período de cocción y de remojo ocurren también pérdidas de sólidos que se han asociado a la calidad de grano y al tipo de grano que se utiliza (1,2)

Desde el punto de vista químico, el proceso de cocción alcalina induce pérdidas importantes de varios nutrientes, en particular de las vitaminas del complejo B y de carotenos en maíz amarillo y también ocurren cambios en el contenido mineral. (10) Sin embargo, el proceso induce cambios que son favorables con respecto a algunos nutrientes y no altera el valor de la calidad de la proteína del maíz, la cual, como bien se sabe, es baja (1,2).

Uno de los cambios de interés nutricional es la reducción en fibra dietética. Esta se ha asociado a la disminución de la biodisponibilidad de varios minerales y otros nutrientes, como por ejemplo del hierro (11,12,13,14). Por el contrario, el uso de hidróxido de calcio se traduce en un incremento significativo en el contenido de calcio de la masa y de la tortilla que puede alcanzar hasta un 400% con respecto al maíz crudo (1,2). Estudios biológicos en ratas han demostrado que este calcio es prácticamente todo biodisponible. Además mejora sustancialmente la relación calcio/fósforo en el alimento (15,16,17)

Un compuesto químico que se ha asociado a reducir la biodisponibilidad del hierro y de otros minerales es el ácido fítico. (18) Este compuesto se encuentra en relativas altas concentraciones en el germen del maíz (18) fracción física del grano que no se elimina durante la cocción alcalina del grano (1,2). A pesar de que se han

1 Graduada en Ingeniería de Alimentos, Universidad del Valle de Guatemala

2 Investigador del Instituto de Investigaciones de la Universidad del Valle de Guatemala

informado datos sobre el contenido de ácido fítico en el maíz nixtamalizado (14,19,20) el cual es menor al contenido en el grano crudo, no se ha informado sobre el efecto de algunas variables de procesamiento por nixtamalización sobre el contenido de ácido fítico, como tampoco sobre el efecto que podría existir sobre la biodisponibilidad del hierro.

El presente estudio trata de ampliar los conocimientos sobre el proceso de nixtamalización del maíz con el fin de establecer su efecto sobre el contenido de ácido fítico y el contenido y biodisponibilidad del hierro y el contenido total de calcio.

MATERIALES Y METODOS

El maíz utilizado en el presente estudio fue donado por Industria Nacional de Harinas S.A. (INHSA), siendo de color blanco y de grano semiduro, comúnmente utilizado por la industria donante para la producción de harina nixtamalizada de maíz. La cal utilizada fue también donada por INHSA.

Nixtamalización: En todos los tratamientos se utilizó 200 g de grano de maíz, el cual fue lavado con agua dos veces para eliminar basura, granos dañados y pedazos de olote. En la cocción alcalina se utilizó una relación de agua a maíz de 3 a 1, para todos los tratamientos. El nivel de cal, tiempo de cocción y tiempo de remojo antes del lavado del grano cocido se hizo de acuerdo al diseño experimental descrito en la Tabla 1. La cocción se llevó a cabo a temperatura de

ebullición usando 0 - 0,4 - 0,8 y 1,2% de cal en base a 200 g de maíz, con tiempo de cocción para cada nivel de 55, 65 y 75 minutos. La mitad de los tratamientos permanecieron en remojo por 12 hrs. con el fin de conocer si este tratamiento podría afectar la concentración de ácido fítico. Después de la cocción sin tiempo de remojo y con 12 hrs de remojo, el maíz cocido fue lavado 4 veces con agua, con lo cual se logró la remoción de gran parte del pericarpio del maíz. Las muestras fueron luego deshidratadas y molidas para sus respectivos análisis químicos.

La humedad se midió por deshidratación de acuerdo al método de la AOAC (21) para cereales y harinas. El contenido de calcio se obtuvo a través de absorción atómica, diluyendo a 10 ml la solución de cenizas con 0.1% de cloruro de lantano al 2%. El hierro total se obtuvo por el método de la AOAC (21) usando

α - α dipiridil. El hierro ionizable se estimó a través del método descrito por Narasinga Rao y Prabhavathi (22) por medio del cual la muestra fue incubada con pepsina simulando las condiciones de estómago. El hierro liberado fue determinado por medio de espectrofotometría de llama a pH 7.5. Usando estos datos se calculó la biodisponibilidad teórica in vivo a partir de la medición desarrollada por Narasinga Rao y Prabhavathi (22). El ácido fítico se midió por espectrofotometría siguiendo el método propuesto por Haug y Lantzach (23).

Los resultados de los experimentos indicados se analizaron estadísticamente por ANDEVA, regresión lineal Microsoft Excel-Lotus 1,2,3 y coeficientes de correlación

TABLA 1

Resultados promedio de la nixtamalización del maíz utilizando tres variables: nivel de cal, tiempo de cocción y tiempo de remojo

Tratamiento O #	Nivel de cal %	Tiempo de cocción min	Tiempo de remojo hrs	Calcio mg/100g	Acido fítico mg/100g	Hierro total ppm	Hierro ionizable ppm pH 7.5
1	0	55	0	39,11	1037,29	19,47	0,92
2			12	38,61	1071,98	20,48	0,89
3		65	0	37,19	1046,82	20,45	0,91
4			12	42,57	988,96	20,66	1,06
5		75	0	43,57	1025,56	20,56	0,98
6			12	40,61	1018,83	20,48	0,96
7	0,4	55	0	54,16	993,29	21,40	1,03
8			12	107,99	991,08	21,55	1,08
9		45	0	92,07	971,11	21,65	1,13
10			12	115,87	975,47	21,24	1,12
11		75	0	100,23	972,04	21,78	1,19
12			12	117,34	945,92	21,36	1,21
13	0,8	55	0	128,90	883,72	21,93	1,29
14			12	142,59	877,78	22,28	1,30
15		65	0	143,82	873,18	22,17	1,34
16			12	146,41	853,47	22,64	1,37
17		75	0	150,66	836,12	22,40	1,38
18			12	167,95	813,95	23,69	1,40
19	1,2	55	0	217,42	828,35	23,16	1,38
20			12	223,14	804,64	22,65	1,50
21		65	0	227,09	800,89	23,20	1,47
22			12	230,36	797,74	22,88	1,52
23		75	0	232,30	751,11	24,42	1,56
24			12	240,10	727,37	25,43	1,63

Cada cifra representa el promedio de 3 análisis independientes

RESULTADOS Y DISCUSION

En la Tabla 1 se muestran los datos de ácido fólico, calcio, hierro total y hierro ionizable obtenidos de los análisis realizados al nixtamal de los diferentes tratamientos de nixtamalización. De acuerdo a las diferentes correlaciones que se deseaban de cada una de las variables, los datos se agruparon adecuadamente para ser analizados y presentarse así los resultados sobre a) el efecto del nivel de cal y del tiempo de cocción sobre el contenido de Ca en el nixtamal; b) el efecto del tiempo de cocción sobre el contenido de ácido fólico, hierro total y hierro ionizable; c) la relación entre el calcio, ácido fólico, hierro total y hierro ionizable, d) el efecto del remojo sobre el ácido fólico, hierro ionizable y hierro total y, e) otras correlaciones entre el ácido fólico, porcentaje de hierro ionizable y la biodisponibilidad del hierro a través del porcentaje de absorción de hierro in vivo en adultos utilizando la ecuación de Narasinga Rao y Prabhavathi (22).

a. Efecto del nivel de cal y del tiempo de cocción sobre el contenido de Ca en el nixtamal: Los datos presentados en la Tabla 1 claramente muestran que el nivel de cal usado para la cocción del maíz influyó sobre el contenido de Ca en el nixtamal a los diferentes tiempos de cocción 55,65 y 75 minutos, así como después de 12 horas de remojo. Cuando no se utilizó cal para la cocción no hubo aumento en el contenido de Ca a los diferentes tiempos de cocción, ni después de 12 horas de remojo. El aumento en el contenido de Ca en el nixtamal después de 12 horas de remojo fue relativamente mayor con 0,4% de cal con 0,8 a 1,2% con respecto al nivel de calcio en las muestras sin remojo. Los datos de este estudio confirman datos publicados por Gómez y col (24). En estos estudios se encontró que a cualquier tiempo la mayor concentración del calcio ocurría en el germen, luego en el grano entero y niveles significativamente más bajos en el endospermo. Este hallazgo es de interés ya que el germen es la porción física del grano de maíz con la mayor cantidad de ácido fólico (18).

b. Efecto del nivel de cal y del tiempo de cocción sobre el contenido de ácido fólico, hierro total y hierro ionizable: Los datos experimentales se describen en la Tabla 1. Aún cuando en la literatura se señala que el tratamiento térmico no es altamente significativo en el comportamiento de ácido fólico éste sí puede ser un factor incidente y se relaciona directamente con el tiempo de exposición del producto al tiempo que es sometido a cocción. Del análisis de datos realizado a los tratamientos para determinar el efecto del tiempo de cocción sobre las diferentes variables se obtuvo que este es un factor influyente en la reducción del ácido fólico de 1031,6 a 785,0 mg % y en el aumento del contenido de hierro ionizable a pH 7,5 de 0,94 a 1,51 ppm; sin embargo, su significancia es mayor a niveles altos de cal. Por el contrario, el pequeño pero no significativo aumento que se observa en hierro total de 0 a 1,2% de cal es probable que sea debido a contaminación por la cal, ya que los valores promedio para 0 - 0,4 - 0,8 y 1,2 % de cal fueron 20,35 - 21,50 - 22,52 y 23,62 ppm, respectivamente. El análisis de varianza para medir la diferencia entre estas variables se hizo dejando constante el tiempo de remojo y el nivel de cal y variando únicamente el tiempo de cocción (Tabla 2). En la mayoría de los grupos de datos analizados y con la excepción de los tratamientos sin cal, el F experimental fue mayor que el F crítico, lo que indicó una diferencia significativa entre tratamientos a diferentes tiempos de cocción. Asimismo, para relacionar las variables se efectuó una regresión lineal entre el tiempo y el ácido fólico, y entre el tiempo y el hierro ionizable. En general las ecuaciones obtenidas mostraron una relación directa lineal entre las variables, lo cual se puede notar en la Tabla 3 y presentaron coeficientes de correlación mayores al 0,95. Las que mostraron valores menores son aquellas en donde no se utilizó la cal para la cocción. En relación al contenido de ácido fólico, este se reduce desde un 8 % en los niveles bajos de cal, hasta un 30-45 % en los niveles altos de cal; el de calcio aumenta hasta un 470 % (Tabla 4), mientras que el contenido de hierro ionizable aumenta desde un 8 % hasta un 78%.

TABLA 2
Resultados del análisis de varianza entre los diferentes tiempos de cocción a un nivel constante de cal y remojo* y del contenido de ácido fólico y hierro ionizable

Tratamientos comparados	F crítica**	Acido fólico		Hierro ionizable		
		relación	F experimental	relación	F experimental	resultado
T1, T3, T5	10,92	>	0,34	>	0,19	NS
T2, T4, T6	10,92	>	5,80	>	7,43	NS
T7, T9, T11	10,92	>	2,19	>	7,30	NS
T8, T10, T12	10,92	<	19,98	<	17,12	S
T13, T15, T17	10,92	<	26,68	<	12,75	S
T14, T16, T18	10,92	<	58,44	<	12,21	S
T19, T21, T23	10,92	<	27,64	<	14,61	S
T20, T22, T24	10,92	<	25,75	<	11,96	S

* Para el análisis de varianza se agruparon los tratamientos de acuerdo al nivel de cal y tiempo de remojo constantes y variando únicamente el tiempo de cocción.

** F crítica $v_1 = 2y$ $v_2 = 6$, $p = 3$ y $n = 9$ (Mendenhall, 1992) a un 0.01 % de nivel de nivel de confianza

TABLE 3
Relación entre el tiempo de cocción sobre el ácido fítico y hierro ionizable a un nivel constante de cal

Nivel de cal	Horas de remojo	Relación de variable	
0	0	AF = 1075 - 0,6 (t)	0,324
	Fe i = 7,42 + 0,03 (t)	0,628	
0	12	AF = 1202 - 2,7 (t)	0,429
	Fe i = 7,42 + 0,04 (t)	0,168	
0,4	0	AF = 1047 - 1,1 (t)	0,964
	Fe = 5,97 + 0,08 (t)	0,980	
	AF = 1120 - 2,3 (t)	0,970	
0,4	12	Fe i = 7,15 + 0,065 (t)	1,000
0,8	0	AF = 1020 - 2,4 (t)	0,995
	Fe i = 10,44 + 0,045 (t)	0,996	
0,8	12	Af = 1063 - 3,3 (t)	0,985
	Fe i = 10,32 + 0,05 (t)	0,949	
1,2	0	AF = 1020 - 3,5 (t)	0,988
	Fe i = 8,85 + 0,09 (t)	1,000	
1,2	12	AF = 1030 - 3,9 (t)	0,970
	Fe i = 11,86 + 0,06 (t)	0,881	

TABLE 4
Porcentaje de reducción o aumento* del ácido fítico, hierro ionizable y calcio en los diferentes tratamientos

Maíz	Acido fítico 1113,33 mg/100g	Calcio 41,5 mg/100g	Hierro ionizable 0,9 ppm
Nixtamal* #	Acido fítico % reducción**	Calcio % aumento**	Hierro ionizable % aumento**
1	6,83	-4,52	1,10
2	3,71	-6,96	-2,20
3	5,97	-10,39	0,00
4	11,17	2,82	16,48
5	7,88	4,99	7,69
6	8,49	-2,14	5,49
7	10,78	102,80	13,19
8	10,98	160,22	18,68
9	12,77	121,86	24,18
10	12,38	179,20	23,08
11	12,69	142,24	30,77
12	15,04	182,75	32,97
13	20,62	210,60	41,76
14	21,16	243,40	42,86
15	21,57	246,55	47,25
16	23,34	252,80	50,55
17	24,90	263,04	51,65
18	26,89	304,70	53,85
19	25,60	423,90	51,65
20	27,73	437,69	64,84
21	28,06	447,20	61,54
22	28,35	455,08	67,03
23	32,58	459,78	71,43
24	34,67	478,55	76,92

* Normal correspondiente a cada uno de los diferentes 24 tratamientos.

** Porcentaje de aumento y reducción está en base a la cantidad inicial en el grano.

TABLA 5

Resultados del análisis de varianza entre los diferentes niveles de cal a un tiempo constante de cocción y remojo y el contenido de ácido fítico y hierro ionizable*

Tratamientos comparados	Acido fítico		Hierro ionizable		
	F crítica**	relación	F experimental	relación	resultado
T1,T7,T13,T19	7,59	<	40,14	<	S
T2,T8,T14,T20	7,59	<	242,20	<	S
T3,T9,T15,T21	7,59	<	223,81	<	S
T4,T10,T16,T22	7,59	<	185,39	<	S
T5,T11,T17,T23	7,59	<	76,35	<	S
T6,T12,T18,T24	7,59	<	101,74	<	S

* Para el análisis de varianza se agruparon los tratamientos de acuerdo a tiempo de cocción y remojo constante y variando únicamente el nivel de cal (0- 0,4 - 0,8 - 1,2)

** F crítica $v_1 = 3$ y $v_2 = 8$, $p = 4$ y $n = 12$ (Mendenhall, 1992) a un 0,01 % de nivel de nivel de confianza

TABLA 6

Relación entre el nivel de calcio y remojo sobre el ácido fítico y hierro ionizable* a un tiempo constante de cocción

t min	remojo hrs	relación variables	r
55	0	AF = 1030 - 1.0 (Ca)	0.904
		Fe.i = 9.48 - 0.02 (Ca)	0.842
	12	AF = 1127 - 1.5 (Ca)	0.955
		Fe.i = 7.63 + 0.03 (Ca)	0.973
65	0	AF = 1088 - 1.3 (Ca)	0.975
		Fe.i = 8.42 + 0.03 (Ca)	0.949
	12	AF = 1051 - 1.1 (Ca)	0.871
		Fe.i = 9.18 + 0.03 (Ca)	0.886
75	0	AF = 1099 - 1.5 (Ca)	0.961
		Fe.i = 8.71 + 0.03 (Ca)	0.982
	12	AF = 1092 - 1.5 (Ca)	0.967
		Fe.i = 8.30 + 0.03 (Ca)	0.998

La reducción en ácido fítico puede atribuirse a la labilidad del compuesto al calor y a una mayor reducción al aumentar el tiempo de cocción, sin embargo, existen otros factores que pueden contribuir a la disminución del compuesto. Por ejemplo, durante el proceso de nixtamalización se tiene una operación de lavado del nixtamal en el cual se remueve el exceso de cal y partes físicas del grano como el pericarpio y una pequeña parte del germen. La literatura indica que en el germen el contenido de ácido fítico es alto (18) por lo que el nivel de remoción de éste durante esta operación puede influir en la disminución del ácido fítico; sin embargo, en el lavado los estudios muestran que es muy poco el germen que se pierde en el agua que se descarta. Probablemente un lavado más intenso podría tener un mayor efecto, aún así esto puede afectar las características y funcionalidad del producto final por lo que debe evaluarse su efecto más detenidamente. En este estudio no se analizó el agua de lavado, sin embargo es interesante señalar que el contenido de ácido fítico en

este puede ser un factor importante para establecer una de las posibles causas de la pérdida del compuesto. Vale la pena señalar que para un estudio posterior puede incluirse esta muestra para definir un balance de masa del AF y definir con mayor certeza el comportamiento del mismo. Por otro lado, es importante indicar que para los 24 diferentes tratamientos del estudio, la operación de lavado fue igual para evitar que ésta fuese una variable y pudiera causar cambios.

c. La relación entre el nivel de Ca sobre el ácido fítico y el hierro ionizable a un tiempo constante de cocción y remojo: El análisis de varianza entre los niveles de cal a un tiempo constante de cocción y remojo sobre el ácido fítico y el hierro ionizable se muestran en la Tabla 5. Se observan diferencias significativas en todos los tratamientos y en todos los casos el F crítico fue menos que el experimental, y al calcular las regresiones lineales todos los casos presentaron una relación directa (Tabla 6). El ácido fítico de acuerdo a su estructura, tiene la capacidad de formar quelatos y ligar metales como el calcio (Ca+2) y hierro (Fe+3, Fe+2). Teóricamente, una molécula de fitato (aún de ácido fítico) tiene la capacidad de enlazar 6 moléculas de calcio; por lo que 0,364 mg de Ca+2 saturarían 1 mg de AF. Durante los diferentes tratamientos de nixtamalización, la cantidad de calcio que se detectaron es considerablemente mayor que la cantidad de ácido fítico presente en el grano, por lo que éste puede ser fácilmente saturado por el ion calcio, el cual ocupa todo los sitios activos del ácido fítico, evitándose así que el compuesto enlace al hierro y permita que éste esté libre para ser biodisponible. El ácido fítico en cereales está presente como un compuesto con 6 moléculas de fósforo que podrían intercambiarse con el calcio. La literatura reporta (4, 10) que los valores de fósforo durante el proceso de nixtamalización varían del grano original al nixtamal, sin embargo esto no es una evidencia total de que ese fósforo sea originario de ácido fítico. La primera respuesta sería por tanto, más real y como se mencionó anteriormente, serían varios los factores que inciden en la disminución del ácido fítico durante el proceso, ya que puede notarse que es en los mayores niveles de cal donde se presenta la mayor reducción del compuesto y el mayor incremento en el hierro ionizable.

d. Efecto del remojo: El tiempo de remojo fue una variable que no presentó algún efecto sobre las variables en estudio. En un

experimento preliminar se estudió el ácido fítico y el hierro ionizable en un proceso industrial y en un proceso casero tradicional, los cuales varían significativamente en su tiempo de remojo, ya que en el industrial por razones de costo y tiempo, no se tiene un tiempo de remojo, sino que el grano se somete a un proceso de nixtamalización continuo; mientras que en el proceso tradicional o casero, éste sí fue sometido a 12 hrs de reposo. Para representar esto en el estudio, se procesaron muestras de 0 horas de remojo y otras a 12 hrs. Para medir el efecto del tiempo de remojo sobre el contenido de ácido fítico y hierro ionizable se hizo un análisis de varianza entre estas variables. Resultados obtenidos no mostraron una diferencia significativa entre los tratamientos sin remojo y los tratamientos con remojo. Al tomar este parámetro como una variable del proceso, se esperaba que ésta tuviera un efecto significativo en los resultados, así como lo tiene en las características organolépticas del proceso. Teóricamente, se esperaba que en el proceso con tiempo de remojo los niveles de calcio y hierro ionizable fueran mucho mayores y que la reducción en ácido fítico fuera alta, dado que durante ese tiempo se permite suavizar más el grano, que éste desprenda más pericarpio y que la penetración de calcio sea mayor y, por lo que tanto, el contenido de ácido fítico sea más bajo.

e. Relación de las variables independientes con el ácido fítico y hierro ionizable: Para relacionar todas las variables independientes (tiempo de cocción, tiempo de remojo y nivel de cal) con el contenido de ácido fítico y hierro ionizable durante el proceso de nixtamalización se realizó un análisis estadístico en el cual a través del método de los mínimos cuadrados y el programa estadístico Excel se obtuvo una regresión múltiple que correlacionó todas las variables y además presentó el coeficiente de correlación y prueba F de los datos. Se obtuvo una recta en la que se asociaron las diferentes variables independientes con la dependiente (ácido fítico o hierro). Pudo notarse que las constantes correspondientes al tiempo de remojo en cada caso eran relativamente menores a las otras dos: la del tiempo de cocción y nivel de cal ($0,0567 \ll 1,5$) en la ecuación del ácido fítico (AF) y ($0,0006 \ll 0,003$) en la ecuación del hierro ionizable (Fei); por lo que su influencia en el resultado final (AF o Fei) no era detectable, sin embargo era directamente proporcional a las variables independientes. Por el contrario, las constantes del tiempo de cocción y nivel de cal eran similares y significativas en la predicción del valor de y. En el caso de la ecuación del ácido fítico ($y = -1,5273 x_1 + 0,567x_2 - 1,3743x_3 + 1188,9841$), estas eran inversamente proporcionales y en el hierro ionizable (Fei) ($y = 0,0035 x_1 + 0,0006 x_2 + 0,0030 x_3 + 0,617$) una relación directa. A través de los resultados y por medio de los coeficientes de correlación de cada uno de los grupos de datos ($r_2 = 0,94$ y $0,95 > 0,90$) se pudo determinar que existe una estrecha relación entre las variables independientes, el ácido fítico, y el hierro ionizable en cada uno de los casos y que estas influyen en el comportamiento de ambos factores. Al obtener en este análisis el estadístico F, se pudo definir y establecer que al ser el F experimental mayor que el crítico en ambos casos ($90,6$ y $118,9 > 3,10$ ($0,05$) y $4,94$ ($0,01$)) y a un nivel de confianza del 95 y 99 %, la ecuación lineal obtenida de la regresión múltiple es útil para predecir el comportamiento del ácido fítico y del hierro ionizable en el proceso de nixtamalización a un tiempo de cocción, un tiempo de remojo y un nivel de cal dado.

En lo que se refiere al porcentaje de absorción de hierro, se utilizó la ecuación propuesta por Narashing Rao y Prabhavathi (22) aceptando las limitaciones en su uso. Esta ecuación fue % hierro absorbido=

$0,4827 + 0,4707X$. El promedio de hierro absorbido fue de 2,65 % para el maíz crudo, de 2,69 % para el maíz cocido sin el agregado de cal, de 2,95 % para el maíz cocido con 0,4 % de cal, de 3,24 % para la cocción con 0,8 % de cal y de 3,48 % cuando el maíz fue procesado con 1,2 % de cal. Esto representa un aumento en absorción del 24 % aproximadamente debido a la cocción con cal con la destrucción parcial del ácido fítico. Se ha indicado que el calcio podría interferir con la biodisponibilidad del hierro; sin embargo, éste aparentemente no ocurrió a los niveles de calcio presentes en el maíz nixtamalizado de este estudio, por lo que sería necesario analizar esa relación con maíz nixtamalizado con niveles de calcio arriba de 240 mg %, lo cual se lograría con una cocción con más de 1,2 % de cal y usando evaluaciones in vivo.

CONCLUSIONES

Los resultados anteriores evidencian claramente la relación entre las variables estudiadas que se puede resumir de la siguiente forma:

- El contenido de ácido fítico disminuye significativamente durante el proceso de nixtamalización y esta reducción está afectada altamente por el tiempo de cocción y por el nivel de cal que se emplea durante el proceso. De la misma forma el hierro ionizable y el contenido de calcio aumentaron, con respecto al grano crudo a niveles altos de cal y tiempos altos de cocción.
- La cantidad de calcio presente durante el procesamiento es tan alta, comparada con la cantidad de ácido fítico existente en el maíz, que el compuesto fácilmente puede ser saturado con el ion calcio y formar así un quelato con el mismo, de tal forma que los sitios reactivos quedan ocupados y el hierro está libre para ser absorbido.
- El ácido fítico es inversamente proporcional al contenido de hierro disponible y al porcentaje de absorción del mismo. A medida que disminuye el contenido de ácido fítico presente en el nixtamal, aumenta la disponibilidad del hierro.
- El aumento de la disponibilidad de hierro en el grano nixtamalizado con respecto a la disponibilidad de hierro del grano crudo es mayor a niveles altos de cal y a tiempos mayores de cocción.
- Al contrario de lo anterior, el tiempo de remojo no presentó ningún efecto significativo sobre los resultados, aún cuando se esperaba que éste fuera un factor altamente incidente.
- El ácido fítico muestra una relación totalmente lineal con el tiempo de cocción y con el nivel de cal, ya que del análisis de regresión lineal se obtuvieron coeficientes de correlación mayores que 0,96. Puede agregarse que además de lo establecido anteriormente, es probable que existan otras fuentes, tanto de proceso como del grano en sí, que pueden influir en los resultados obtenidos y que deben estudiarse posteriormente para ampliar los conocimientos del proceso de nixtamalización y los beneficios que dicho proceso puede acarrear. Un ejemplo es que la fibra dietética puede ser factor adverso hacia la biodisponibilidad de los elementos, una correlación entre el contenido de ácido fítico y la fibra puede verificar dicho enunciado. Varios estudios (3,4,5) señalan que la fibra se reduce significativamente (hasta un 50 % del valor inicial) durante la transformación del grano a nixtamal, por lo que dicha reducción puede ser un factor, que al igual que la reducción del ácido fítico, influyen en la biodisponibilidad del hierro.

REFERENCIAS

1. Bressani R. Chemistry, technology and nutritive value of maize tortillas. *Food Revs. Intl* 6:225-264 (A review), 1990.
2. Serna-Saldívar S.O., Gómez M.H. & Rooney L.W. The chemistry, technology and nutritional value of alkaline cooked corn products. *Adv. Cereal Chem & Technol* 10:243-307, 1990.
3. Bressani R., Benavides V., Acevedo E. & Ortíz M.A. Changes in selected nutrient content and in protein quality of normal and quality protein maize during tortilla preparation. *Cereal Chem.* 67:515-518, 1990.
4. Bressani R., Breuner M. & Ortíz M.A. Contenido de fibra ácido-detergente y minerales traza en maíz y en tortilla. *Arch. Lat. Amer. Nutr.* 39:382-391, 1989.
5. Reinhold J.G. & García J.S. Fiber of the maize tortilla. *Amer. J. Clin Nutr* 32:1326-1329, 1979.
6. Robles R.R., Murray E.D. & Paredes-López O. Physics chemical changes of maize starch during the lime-heat treatment for tortilla making. *Intl. J. Food Sci. & Tech.* 23:91-98, 1988.
7. Morad M.M., Iskander F.Y., Rooney L.W. & Earp C.F. Physico-chemical properties of alkali-cooked corn using traditional and pre-soaking procedures. *Cereal Chem.* 63:255-259, 1986.
8. Bressani R. & Scrimshaw N.S. Effect of lime treatment on in vitro availability of essential amino acids and solubility of protein fractions in corn. *J. Ag. Food Chem.* 6:774-778, 1958.
9. Ortega E.I., Villegas E. & Vasal J.K. A comparative study of protein changes in normal and quality protein maize during tortilla making. *Cereal Chem.* 63:446-451, 1986.
10. Bressani R., Paz y Paz R. & Scrimshaw N.S. Chemical changes in corn during preparation of tortillas. *J. Agr. & Food Chem.* 6:770-778, 1958.
11. Martínez-Torres C., Taylor P., Leets I. Tropper E. & Ramírez J. Iron absorption from maize bread. *Food & Nutr Bull* 9(4):64-69, 1987.
12. García-López S. & Wyatt C.J. Effect of fiber in corn tortillas and cooked beans on iron availability. *J. Agr. Food Chem* 30:724-727, 1982.
13. Reihold J.G., García L.J.S. & Garzón P. Binding of iron by fiber of wheat and maize. *Amer J Clin Nutr* 34:1384-1391, 1981.
14. Wyatt C.J. & Triana-Tejas A. Soluble and insoluble Fe, Zn, Ca and Phytates in foods commonly consumed in Northern Mexico. *J. Agr. Food Chem.* 42:2204-2209, 1994.
15. Braham J.E. & Bressani R. Utilización del calcio del maíz tratado con cal. *Nutr Bromalt Toxicol* 5:14-19, 1966.
16. Poneros A.G. & Erdman Jr. J.W. Bioavailability of calcium from Tofu, Tortillas, Non-fat Dry Milk and Mozzarella cheese in rats. Effect of supplemental ascorbic acid. *J. Food Sci.* 53:208-210, 230, 1988.
17. Serna-Saldívar J.O., Rooney L.W. & Green L.W. Effect of lime-treated on the availability of calcium in diets of tortillas and beans. Rat growth and balance studies. *Cereal Chem.* 68:565-570, 1981.
18. O'Dell B.L., de Boland A.R., Kairyohann S.R. Distribution of phytate on nutritionally important elements among the morphological components of cereal grains. *J. Agr. Food Chem* 20:718-723, 1972.
19. Khan N., Zaman R. & Elahi M. Effect of heat treatment on the phytic acid content of maize products. *J. Sci. Food Agric.* 54:153-156, 1991.
20. Gómez-Aldapa C.A., Martínez-Bustos F., de D. Figueroa-Cárdenas J. & Ordorico-Falomir C.A. y González-Hernández J. Cambios en algunos componentes químicos y nutricionales durante la preparación de tortillas de maíz elaborado con harinas instantáneas obtenidas por extrusión continua. *Arch. Lat. Amer Nutr.* 46:315-319, 1996.
21. AOAC Official Methods of Analysis, 14th Ed. Arlington, VA, U.S. 1984.
22. Naragazinga Rao B.S. & Prabhavathi T. An in vitro method for predicting the bioavailability of iron in foods. *Amer. J. Clin. Nutr.* 31:169-175, 1978.
23. Haug W. & Lantzsch H-J. Sensitive method for the rapid determination of phytate in cereals and cereal products. *J. Sci. Food Agr.* 34:1423-1426, 1983.

Recibido: 27-11-1996

Aceptado: 19-06-1997