

ARTÍCULOS ORIGINALES

DIALIZABILIDAD DE HIERRO Y ZINC EN CEREALES PARA DESAYUNOS COMERCIALES FORTIFICADOS CON HIERRO ELEMENTAL, SULFATO FERROSO O EDTA FERRICO SODICO

IRON AND ZINC DIALYSABILITY IN COMMERCIAL BREAKFAST CEREALS FORTIFIED WITH ELEMENTAL IRON, FERROUS SULPHATE OR FERRIC SODIUM EDTA

Carolina Elisa Cagnasso, Laura Beatriz López, María Julieta Binaghi,
Néstor Raúl Pellegrino, Mirta Eva Valencia

Cátedra de Bromatología, Facultad de Farmacia y Bioquímica.
Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.

ABSTRACT

Iron (Fe) and Zinc (Zn) dialyzability was compared in 7 commercial ready-to-eat breakfast cereals (BC). Four of them were fortified with elemental Fe and ZnO. Fe and Zn dialyzability of 3 different types of BC fortified with ZnO and FeNa₂EDTA or FeSO₄ was also performed in our laboratory. An in vitro methodology that measures the percentage of mineral dialyzability (D%) with controlled pH was used. The DFe% values obtained for the commercially fortified BC ranged between 0.4 to 15.0% without milk and between 1.0 to 5.6% when milk was added to the cereals. In the case of Zn the values ranged from 3.3 to 16.1 without milk and between 3.3 and 30.8 when milk was added. Almost every BC that was experimentally fortified in our laboratory presented a higher DFe% (19.5 to 28.6%) and DZn% (12.4 to 29.2) when fortified with FeNa₂EDTA (with or without milk). The results obtained suggest that FeNa₂EDTA is a viable alternative for the fortification of BC.

Key words: cereals for breakfast, FeNa₂EDTA, FeSO₄, iron, fortification.

Este trabajo fue recibido el 20 de Mayo de 2009 y aceptado para ser publicado el 1 de Marzo de 2010.

INTRODUCCIÓN

La fortificación de alimentos para el consumo masivo es una importante estrategia para mejorar la situación nutricional de las poblaciones. Revisten particular importancia las deficiencias de minerales el hierro (Fe) y el Zinc (Zn). En América Latina la deficiencia de Fe y la anemia ferropénica constituyen problemas de salud pública importantes que afectan a millones de personas en todas las etapas de la vida, especialmente a los lactantes y a las mujeres embarazadas, pero también a los niños mayores, a los adolescentes y a las mujeres en edad reproductiva.

En Argentina según los resultados de la Encuesta Nacional de Nutrición y Salud realizada por el Ministerio de Salud de la Nación durante el año 2005 (1) la prevalencia de deficiencia de hierro en mujeres embara-

zadas y niños menores de 2 años, es de 36,7% y 35,3%, respectivamente. En niños entre 2 y 5 años la prevalencia de anemia microcítica fue de 2,4%. La anemia por deficiencia de hierro retrasa el desarrollo mental y la maduración del lactante; en el niño en edad escolar altera el desarrollo cognitivo, limita el rendimiento escolar y reduce la resistencia a las infecciones (2).

El porcentaje de población estimada en riesgo de deficiencia de Zn en América Latina es 24,8% (3). La deficiencia de Zn puede presentar como síntomas generales hiperqueratosis y paraqueratosis de la piel, esófago y estómago, dermatosis, alopecia, lesiones oculares, atrofia testicular, retardo en el crecimiento y anorexia.

La principal causa de deficiencia para ambos minerales es la baja ingesta y/o biodisponibilidad de estos

minerales en la alimentación.

La biodisponibilidad depende tanto de factores exógenos como endógenos (secreciones digestivas, estado de los depósitos y velocidad de eritropoyesis, entre otros). Entre los factores exógenos encontramos a los componentes de la alimentación con presencia de inhibidores como fitatos, fosfatos, polifenoles u otros minerales y de promotores como ácido ascórbico, citrato y proteínas cárnicas (2).

Para que la fortificación con minerales sea efectiva debe seleccionarse una combinación de un compuesto de fortificación con un alimento-vehículo que sea segura y aceptable por la población a la que está dirigida. No debe afectar adversamente la calidad organoléptica y la vida útil del alimento y debe proveer Fe y/o Zn en una forma estable y de alta biodisponibilidad (4).

Los cereales para el desayuno son un excelente vehículo para la fortificación con vitaminas y minerales. En Argentina, se encuentran usualmente fortificados con ZnO y Fe elemental, esta última, una de las formas de Fe con menor impacto organoléptico pero también con menor biodisponibilidad.

A nivel internacional, diversas organizaciones promueven el uso, en países en desarrollo, de la sal férrica sódica del ácido etilendiaminotetraacético (FeNa_2EDTA) como fortificante. La ventaja principal del uso del FeNa_2EDTA en la fortificación de alimentos es que el Fe está protegido, en el tracto gastrointestinal, de los inhibidores de absorción del Fe de los alimentos, como los fitatos y los polifenoles. Debido a que éste no está ampliamente disponible en el mercado por su baja demanda, presenta un precio elevado frente a otras fuentes de Fe como el Fe elemental o el sulfato ferroso (FeSO_4) (5).

Existen métodos *in vitro* para estimar la biodisponibilidad de minerales que permiten evaluar la influencia de diferentes componentes de la dieta. La medida de la dializabilidad de minerales es uno de los más frecuentemente utilizados para estimar la proporción del elemento que está disponible para su absorción. Dado que la biodisponibilidad de los minerales depende de las características del alimento, de la presencia de otros constituyentes alimentarios y de sus condiciones en el tracto gastrointestinal, esta técnica *in vitro* puede reproducir condiciones intraluminales capaces de afectar su absorción a nivel duodenal. Debido a que la solubilidad de los compuestos de fortificación es un factor importante para determinar la captación de los minerales por el enterocito (6) la medición de la dializabilidad permite evaluar la interacción mineral-alimento y la disponibilidad de estos para ser absorbidos. Estos datos son útiles para comparar fortificantes entre sí y permite la selección de las mejores mezclas para ser utilizadas en estudios con

humanos y de esta manera ahorrar recursos (7).

Un objetivo del presente trabajo fue comparar la dializabilidad de Fe y Zn en cereales para desayuno, comercialmente fortificados con Fe elemental y ZnO, con y sin agregado de leche. Otro objetivo fue comparar la dializabilidad de Fe y Zn en tres tipos diferentes de cereales, no fortificados, con y sin el agregado de leche, a los que se les agregó experimentalmente ZnO y FeNa_2EDTA o FeSO_4 .

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestras comerciales

Las muestras analizadas fueron: copos de maíz fortificados (CMF), copos de maíz azucarados fortificados (CMAF); cereales con cacao fortificados (CCF) y aritos sabor frutado fortificados (AFF), copos de maíz sin fortificar (CM), cereales con cacao sin fortificar (CC) y aritos sabor frutado sin fortificar (AF). Todas las muestras fueron analizadas, con y sin agregado de leche, por triplicado.

Muestras fortificadas con FeNa_2EDTA o FeSO_4 en el laboratorio

Las muestras seleccionadas fueron CM, CC y AF. El agregado de FeNa_2EDTA o FeSO_4 fue el suficiente para alcanzar una concentración de Fe de 12mg/100 g de cereal. También se agregaron 50 mg de ácido ascórbico y 15 mg de ZnO cada 100 g de cereal. Todas las muestras fueron analizadas, con y sin agregado de leche, por triplicado.

Determinación del contenido de ácido ascórbico de las muestras

Se realizó la determinación del contenido de ácido ascórbico de las muestras según la metodología descrita por Behrens y Madere (8).

Dializabilidad

La dializabilidad de los minerales (D%) como un indicador de la biodisponibilidad potencial fue determinada por medio del método *in vitro* de Miller (8), modificado por Wolfgor y col. (9). El procedimiento involucra una digestión enzimática en condiciones que simulan las fisiológicas. Cada muestra fue homogeneizada en una procesadora para facilitar su posterior análisis. Alcuotas de 15 g de cereales procesados fueron incubadas con 7 ml de una solución acuosa al 3% de μ -amilasa y 45 ml de agua o leche durante 30 minutos a 37° C con agitación. Posteriormente se continuó con la metodología descrita por Binaghi y col (10).

El contenido total de minerales de las muestras fue determinado en el digerido de pepsina por espectroscopía de absorción atómica previa mineralización con una

mezcla HNO_3 - HClO_4 (50:50). La dializabilidad mineral fue calculada como el porcentaje del mineral dializado con respecto a la concentración total de mineral presente en cada muestra.

$$\text{\% del mineral} = \frac{\text{mg de mineral en el dializado} \times 100}{\text{mg de mineral en el digerido}}$$

Contenido de Fe y Zn de los cereales comerciales

El contenido total de minerales de las muestras comerciales fue determinado por espectroscopía de absorción atómica previa mineralización con una mezcla HNO_3 - HClO_4 (50:50).

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó utilizando ANOVA y Test de Tukey a posteriori con $p < 0,05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los cereales para desayuno fortificados declaraban en el rótulo un contenido de ácido ascórbico de 50 mg%. Los resultados obtenidos para dichos cereales fueron de 73,5 mg% para CMF, 68,6 mg% para CCF, 86,4 mg% para AFF y 49,6 mg% para CMAF. No se obtuvieron valores significativos de ácido ascórbico en los cereales sin fortificar.

En la figura 1 se observan los valores de dializabilidad de Fe de los distintos cereales para desayuno

comerciales, con y sin el agregado de leche. En todos los casos se observa una disminución de la DFe% con el agregado de leche salvo para AF. En este caso no se evidencia el efecto negativo de la leche dado que los valores de D% son de por sí muy bajos.

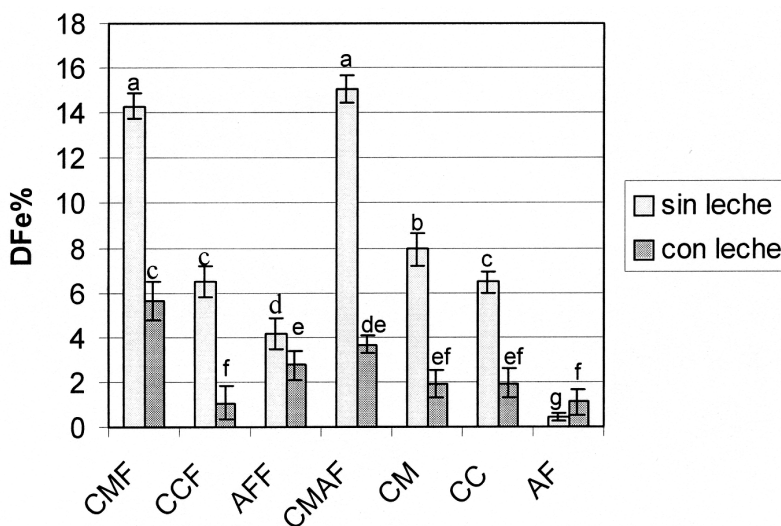
En los cereales fortificados comercialmente, no se tuvo acceso al tipo de fortificante utilizado salvo por lo declarado en el rótulo como "hierro elemental". No fue posible saber si se trataba de Fe reducido, electrolítico o carbonílico, que son formas de Fe elemental con distinta disponibilidad (11). Es por ello que no se puede determinar si las diferencias en la dializabilidad de Fe de estas muestras está dada por la fuente de Fe o por la matriz alimentaria.

En la figura 2 se observan los valores de dializabilidad de Zn de los distintos cereales para desayuno comerciales, con y sin el agregado de leche. En la mayoría de los casos se observa un aumento en la DZn% con el agregado de leche, salvo en los cereales no fortificados donde prácticamente no se observan diferencias o no son relevantes. Teniendo en cuenta el contenido de cada mineral y su dializabilidad se pudo calcular el aporte potencial de cada mineral en cada uno de los cereales utilizando la siguiente fórmula.

$$\text{Aporte potencial del mineral} = \frac{\text{\% del mineral en el cereal} \times \text{\% de dializabilidad mineral}}{100}$$

FIGURA 1

Porcentajes de dializabilidad de Fe en cereales para desayuno comerciales, con y sin agregado de leche (n=6, media \pm desvío estándar).



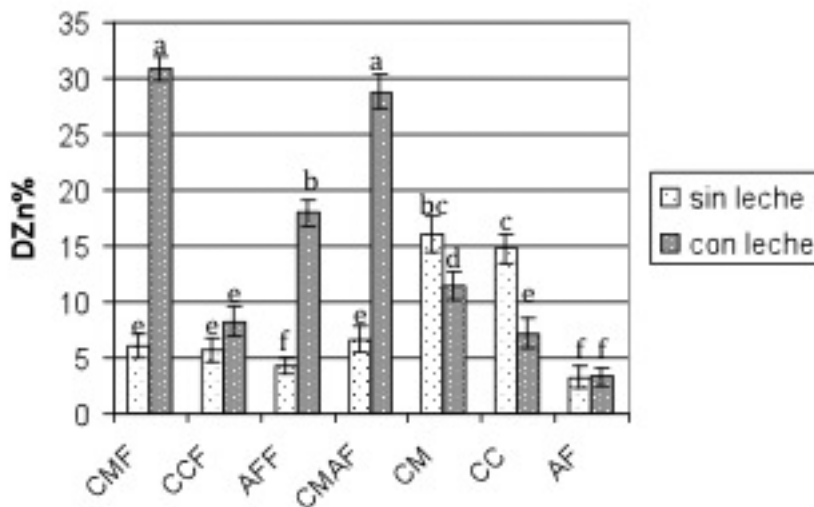
Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

El contenido y el aporte potencial de Fe y Zn cada 100 g de los cereales para desayuno comerciales se muestran en la tabla 1.

Es importante destacar que si bien estos cereales comerciales se encuentran fortificados con Fe y Zn, la dializabilidad de estos minerales, en algunos casos, es

FIGURA 2

Porcentajes de dializabilidad de Zn en cereales para desayuno comerciales, con y sin agregado de leche (n=6, media ± desvío estándar).



Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

TABLA 1

Contenido y aporte potencial de Fe y Zn cada 100 g de cereales para desayuno comerciales.

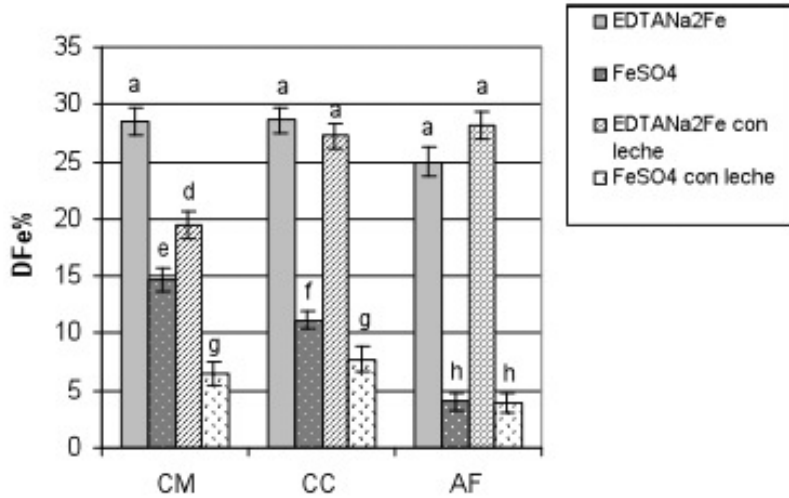
	Contenido de Fe mg/100g	Aporte potencial de Fe mg/100g	Contenido de Zn mg/100g	Aporte potencial de Zn mg/100g
CMF	sin leche	9,5	1,4	0,7
	con leche	9,7	0,5	3,9
CCF	sin leche	11,5	0,7	0,6
	con leche	11,7	0,1	1,1
AFF	sin leche	13,3	0,6	0,8
	con leche	13,5	0,4	3,8
CMAF	sin leche	13,9	2,1	1,0
	con leche	14,1	0,5	4,8
CM	sin leche	0,04	0,0	0,1
	con leche	0,2	0,0	0,2
CC	sin leche	1,3	0,1	0,2
	con leche	1,5	0,0	0,2
AF	sin leche	2,2	0,1	0,1
	con leche	2,4	0,0	0,1

muy baja por lo que no aportarían cantidades significativas de Fe y/o Zn a la dieta, sobre todo si se combinan con el agregado de leche.

En la figura 3 se muestran los resultados de porcentajes de dializabilidad de Fe en cereales para desayuno con agregado de distintos fortificantes y con agregado o no de leche

FIGURA 3

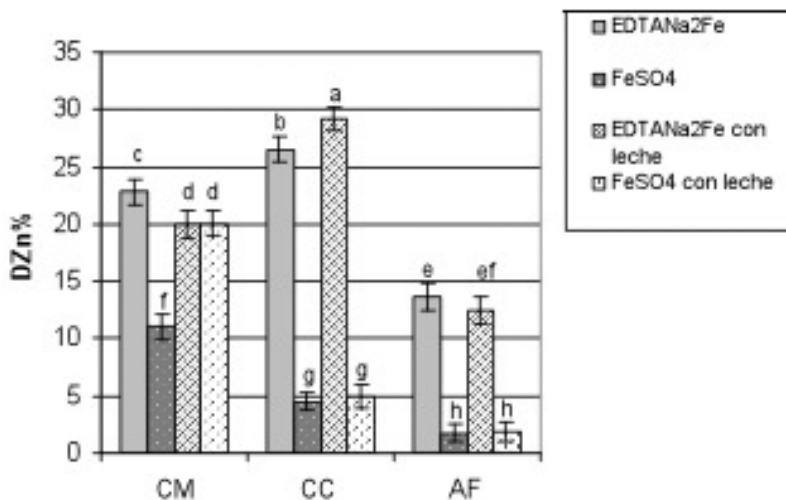
Porcentajes de dializabilidad de Fe en cereales para desayuno con agregado de distintos fortificantes y con agregado o no de leche, (n=6, media \pm desvío estándar).



Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

FIGURA 4

Porcentaje de dializabilidad de Zn en cereales para desayuno con agregado de distintos fortificantes y con agregado o no de leche (n=6, media \pm desvío estándar).



Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

leche. Todos los cereales fortificados en el laboratorio, presentaron mayor dializabilidad de Fe cuando fueron fortificados con FeNa₂EDTA (con y sin agregado de leche). En CM y en CC fortificado con FeSO₄ la leche produjo una disminución en la DFe%. Este efecto no se observó en la muestra AF ni en CC fortificado con FeNa₂EDTA. La influencia negativa de la leche sobre la dializabilidad de Fe no es tan evidente cuando los cereales son fortificados con FeNa₂EDTA como cuando son fortificados con FeSO₄.

Para el Zn, cuyos resultados se muestran en la figura 4, el agregado de leche prácticamente no influyó en la DZn% cuando los cereales fueron fortificados con FeNa₂EDTA o cuando los valores de D% son muy bajos.

Los aportes potenciales de estos minerales se detallan en la tabla 2, donde se puede observar que a igualdad de contenido de hierro el aporte de este mineral cuando esta agregado como FeNa₂EDTA es superior que cuando se agrega como FeSO₄. Los resultados son similares para el caso del Zn.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo con respecto al agregado de FeNa₂EDTA y de FeSO₄ son similares a los obtenidos por Wortley y colaboradores. En dicho trabajo se cuantificó la producción de ferritina por parte de un modelo de digestión in vitro con células de adenocarcinoma de colon humano (CaCo-2), com-

rando 14 formas de Fe agregadas a una matriz de cereales para desayuno a base de trigo (12). Se observó que la producción de ferritina fue aproximadamente 2,5 veces mayor en los cultivos enfrentados a los cereales fortificados con FeNa₂EDTA que a los enfrentados con FeSO₄.

Dado que la dializabilidad de Fe y Zn es una medida de la solubilidad de estos minerales y por lo tanto da idea de cuanto mineral está disponible para su absorción, los resultados obtenidos muestran al FeNa₂EDTA como una alternativa prometedora para la fortificación de cereales para desayuno.

Si bien el agregado de FeNa₂EDTA produciría un incremento de los costos a igual cantidad de Fe, esta diferencia de costos no resultaría tan evidente cuando se compara la disponibilidad de FeNa₂EDTA, Fe elemental y FeSO₄; especialmente en alimentos con alto contenido de fitatos como es el caso de los cereales para desayuno. A su vez debe tenerse en cuenta el efecto beneficioso que tiene este fortificante en la DZn% al evaluar el balance costo-beneficio.

RESUMEN

Se comparó la dializabilidad de Fe y Zn en 7 cereales para desayuno comercialmente fortificados o no, con Fe elemental y ZnO y se comparó la dializabilidad de Fe y Zn en tres tipos diferentes de cereales experimental-

TABLA 2

Contenido y aporte potencial de Fe y Zn cada 100g de cereales para desayuno experimentalmente fortificados con Na₂FeEDTA y FeSO₄.

	Contenido de Fe mg/100g		Aporte potencial de Fe mg/100g		Contenido de Zn mg/100g		Aporte potencial de Zn mg/100g	
CM	sin leche	12,0	EDTANa ₂ Fe	3,4	sin leche	12,0	EDTANa ₂ Fe	2,7
			FeSO ₄	1,8			FeSO ₄	1,3
	con leche	12,2	EDTANa ₂ Fe con leche	2,4	con leche	13,6	EDTANa ₂ Fe con leche	2,7
			FeSO ₄ con leche	0,8			FeSO ₄ con leche	2,7
CC	sin leche	12,0	EDTANa ₂ Fe	3,4	sin leche	12,0	EDTANa ₂ Fe	3,2
			FeSO ₄	1,3			FeSO ₄	0,5
	con leche	12,2	EDTANa ₂ Fe con leche	3,3	con leche	13,6	EDTANa ₂ Fe con leche	4,0
			FeSO ₄ con leche	0,9			FeSO ₄ con leche	0,7
AF	sin leche	12,0	EDTANa ₂ Fe	3,0	sin leche	12,0	EDTANa ₂ Fe	1,6
			FeSO ₄	0,5			FeSO ₄	0,2
	con leche	12,2	EDTANa ₂ Fe con leche	3,4	con leche	13,6	EDTANa ₂ Fe con leche	1,7
			FeSO ₄ con leche	0,5			FeSO ₄ con leche	0,3

mente fortificados con ZnO y FeNa₂EDTA o FeSO₄ en el laboratorio. Se utilizó una metodología in vitro que mide el porcentaje de dializabilidad (D%) del mineral en condiciones controladas de pH. Los cereales comercialmente fortificados presentaron valores de DFe% entre 0,4 y 15,0 y entre 1,0 y 5,6; sin y con leche. Para DZn% los valores fueron entre 3,3 y 16,1 y entre 3,3 y 30,8, sin y con leche. Casi todos los cereales fortificados en el laboratorio presentaron mayor DFe% (entre 19,5 y 28,6) y DZn% (entre 12,4 y 29,2) cuando fueron fortificados con FeNa₂EDTA (con y sin leche). Los resultados obtenidos muestran al FeNa₂EDTA como una alternativa viable para la fortificación de cereales para desayuno.

Palabras clave: Cereales para desayuno, FeNa₂EDTA, FeSO₄, hierro, fortificación.

Dirigir la correspondencia a:

Profesora

Carolina Elisa Cagnaso

Cátedra de Bromatología,

Facultad de Farmacia y Bioquímica

Universidad de Buenos Aires

Junín 956. 2do piso.

(1113). Buenos Aires.

Argentina.

Teléfono: 4964-8243

Fax: 4964-8243

E-mail: ccagnasso@gmail.com

Agradecimientos: Este trabajo fue parcialmente financiado por UBACYT B071 y PICT 01105.

BIBLIOGRAFÍA

1. Encuesta Nacional de Nutrición y Salud. Respuestas de la Gente, propuestas para el País. Documento de Resultados, 2007. Ministerio de Salud, Presidencia de la Nación, Argentina. Disponible en: http://www.msal.gov.ar/htm/site/enys/pdf/documento_resultados_2007.pdf. Acceso Mayo 2009.
2. Portela M. L. Vitaminas y Minerales en Nutrición. 2ª Edición, Editorial La Prensa Médica Argentina, Buenos Aires, Argentina, 2003.
3. IZiNCG. International Zinc Nutrition Consultative Group. Technical Document # 1. Assessment of the Risk of Zinc Deficiency in Populations and Options for Its Control. 2004. Disponible en: <http://www.izincg.org/pdf/IZiNCGtechdocFNB2004.pdf>. Acceso Marzo 2009.
4. Martínez-Navarrete N, Camacho J, Martínez-Lahuerta J, Martínez-Monzó J, Fito P. Iron deficiency and iron fortified foods - a review. *Food Res Int* 2002; 35:225-231.
5. Instituto Internacional de Ciencias de la Vida. Compuestos de hierro para la fortificación de alimentos: Guías para América Latina y el Caribe, 2002. Disponible en: www.paho.org Acceso: Abril de 2009.
6. Cousins RJ. Zinc. Conocimientos actuales sobre nutrición. 7ma. Edición. Ed. Ziegler EE y Filer LJ. Cap 29. Washington DC, EEUU, 1997.
7. Walter T, Pizarro F, Olivares M. Iron Bioavailability in Corn-Masa Tortillas is improved by the addition of disodium EDTA. *Community and international Nutrition Research Communication. J Nutr* 2003; 133: 3158-61.
8. Behrens W, Madere R. A highly sensitive high-performance liquid chromatography method for the estimation of ascorbic and dehydroascorbic acid in tissues, biological fluids and foods. *Anal Biochem* 1987; 165:102-107.
9. Miller D, Schrinken B, Rassmussen R. An in vitro method for estimation of iron availability from meals. *Am J Clin Nutr* 1981; 34:248-256.
10. Wolfgor R, Drago S, Rodriguez V, Pellegrino N, Valencia M.E. In Vitro measurement of availability iron in fortified foods. *Food Res Int* 2002; 35: 85-90.
11. Binaghi María J, López Laura B, Ronayne Patricia A, Valencia Mirta E. Evaluación de la influencia de distintos componentes de la dieta sobre la biodisponibilidad de minerales en alimentos complementarios. *Rev Chil de Nutr* 2007; 34(1):56-60.
12. SUSTAIN. Evaluation of the bioavailability of elemental iron powders used for food fortification. 2005. Disponible en: www.sustaintech.org Acceso: Abril de 2009.
13. Wortley G, Leussner S, Good C, Gugger E, Glahn R. Availability of a fortified processed wheat cereal: a comparison of fourteen iron forms using an in vitro digestion/human colonic adenocarcinoma (CaCo-2) cell model. *British J Nutr* 2005; 93:65-71.