

## Contenido total y disponibilidad *in vitro* de hierro y zinc en alimentos de mayor consumo en Sonora y Oaxaca, México

Rosa Olivia Méndez, Karla Bueno, Nayeli Campos, Daniela López, Carolyn Jane Wyatt y María Isabel Ortega

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., Hermosillo, Sonora, México

**RESUMEN.** La dieta en países en vías de desarrollo está constituida por cereales y legumbres que si bien aportan cantidades importantes de hierro (Fe) y zinc (Zn), resultan ser minerales de baja disponibilidad. Los objetivos del presente trabajo fueron: 1) cuantificar el contenido total y dializable de Fe y Zn en alimentos del norte (Sonora) y del sur (Oaxaca) de México; 2) evaluar el efecto de la presencia de carne sobre los valores de Fe y Zn dializables. La cuantificación de Fe y Zn total y dializable se hizo por el método de la AOAC y de Shen et al, respectivamente. Los resultados obtenidos para Fe total en alimentos de Sonora presentaron un rango de  $0.78 \pm 0.0$  a  $11.59 \pm 0.03$  mg/100g (base seca, BS); y en los de Oaxaca de  $0.86 \pm 0.18$  a  $8.8 \pm 0.57$  mg/100g (BS). Para Zn total los valores variaron de  $0.91 \pm 0.00$  a  $13.58 \pm 0.05$  mg/100g (BS) en Sonora y de  $0.64 \pm 0.18$  a  $20.80 \pm 0.33$  mg/100g (BS) en Oaxaca. En los alimentos de Sonora se tuvieron valores de  $0.1 \pm 0.04\%$  a  $10.6 \pm 0.36\%$  para Fe dializable y de  $4.0 \pm 0.21\%$  a  $55.32 \pm 0.14\%$  para Zn dializable. En los de Oaxaca el rango fue de  $0.22 \pm 0.06\%$  a  $9.40 \pm 0.14\%$  para Fe dializable y de  $2.41 \pm 0.26\%$  a  $54.27 \pm 1.49\%$  para Zn dializable. Se obtuvo un promedio mayor en el contenido de Fe dializable en los alimentos que contenían carne, respecto a los que no la contenían y entre el frijol pinto y las tortillas de maíz de Sonora respecto al frijol negro y tortillas de maíz rurales de Oaxaca. El contenido de Zn dializable no mostró diferencias significativas entre los alimentos de las dos regiones.

**Palabras clave:** Disponibilidad *in vitro*, dializable, hierro, zinc.

### INTRODUCCION

El Fe y el Zn son minerales indispensables para los seres humanos. Durante la niñez la deficiencia de Fe se asocia con disminución en la capacidad de aprendizaje y el desarrollo motor, mientras que la deficiencia de Zn con retardo en el crecimiento y aumento en la prevalencia de enfermedades infecciosas (1). Las recomendaciones de consumo diario para Fe y Zn varían con la edad y el sexo, pero es importante considerar que algunos factores dietarios pueden afectar su absorción intestinal y dar como resultado una baja absorción de ambos minerales. En países en vías de desarrollo se ha reportado que los principales aportadores de Fe y Zn son alimentos de origen vegetal, los cuales abastecen también cantidades importantes de fibra, taninos y fitatos que pueden

**SUMMARY.** Total content and dialyzable iron and zinc in foods from Northern and Southern Mexico. Developing countries diets are based on a variety of plant foods that often are the main suppliers of important amounts of iron (Fe) and zinc (Zn). The objectives of this study were 1) to measure the total and dialyzable amounts of Fe and Zn in foods from Northern Mexico (Sonora) and from Southern Mexico (Oaxaca) and 2) to evaluate the effect of meat content of diets on the dialyzable amount of Fe and Zn. Methods to calculate the total dialyzable amount of Fe and Zn, were those of the AOAC and of Shen et al. Total Fe in e northern Mexican foods went from  $0.78 \pm 0.0$  to  $11.59 \pm 0.03$  mg/100g (dry weight, DW); in southern Mexican foods the same micronutrient amounts were  $0.86 \pm 0.18$  to  $8.8 \pm 0.57$  mg/100g (BS). Total Zn values were  $0.91 \pm 0.00$  to  $13.58 \pm 0.05$  mg/100g (DW) in Sonora, and  $0.64 \pm 0.18$  to  $20.80 \pm 0.33$  mg/100g (DW) in Oaxaca. In northern Mexico, foods dialyzable Fe had values from  $0.1 \pm 0.04\%$  to  $10.6 \pm 0.36\%$  and for Zn from  $4.0 \pm 0.21\%$  to  $55.32 \pm 0.14\%$ . Meanwhile, the range of values of dialyzable Fe for foods from Oaxaca were from  $0.22 \pm 0.06\%$  to  $9.40 \pm 0.14\%$  for and from  $2.41 \pm 0.26\%$  to  $54.27 \pm 1.49\%$  for dialyzable Zn. The average value for dialyzable Fe was higher in the foods that contained meat or meat products ( $p= 0.001$ ).

**Key words:** *In vitro* bioavailability, dialyzable, iron, zinc

actuar de manera negativa en la absorción de Fe no hémico y Zn (2). De acuerdo a Zimmermann et al (3) una de las causas de deficiencia de Fe en niños de una área rural de África puede ser la baja disponibilidad del Fe contenido en su dieta, basada en cereales y leguminosas. La misma situación es de esperarse en cuanto al Zn considerando que su absorción está determinada por la cantidad de fitatos y de Zn total en los alimentos (4). Por otra parte, resultados obtenidos con alimentos fortificados y con suplementos sugieren que es importante evitar interferencias entre el Fe y el Zn durante el proceso de absorción intestinal. Crofton et al (5) concluyeron que el Zn inorgánico puede disminuir la absorción intestinal del Fe cuando es coadministrado en proporciones molares de 1:1 o 2.5:1, Zn-Fe. Sin embargo, Herman et al (6) reportaron que al utilizar una proporción 1:1, Zn-Fe, la absorción de Fe

se afectó solo cuando usaron sulfato de zinc como fortificante en pan de trigo y no cuando utilizaron óxido de zinc. Respecto a la posible inhibición que el Fe no heme pudiera tener sobre la absorción del Zn, Solomons y Jacob (7) reportaron evidencias de interacción competitiva en el intestino humano al comparar los niveles de Zn plasmático después de administrar Zn y Zn con Fe. Sus resultados mostraron valores más altos de Zn plasmático cuando el Zn se administró solo y menores conforme aumentaba la cantidad de Fe no heme. Por lo tanto, el tipo de sales y la proporción entre Fe y Zn son dos de las recomendaciones a seguir durante la formulación de productos fortificados.

Entre los métodos más exactos usados para evaluar la biodisponibilidad de Fe y Zn se citan los que utilizan isótopos, los cuales también permiten medir la velocidad de absorción gastrointestinal y la excreción endógena hacia el tracto gastrointestinal, entre otros parámetros. Sin embargo una limitante para su utilización es su elevado costo y el tiempo requerido para la realización de esos estudios. Como métodos relativamente sencillos, rápidos y menos caros se citan técnicas *in vitro* que si bien no reflejan la utilización de los minerales, sí sirven para estimar la cantidad de Fe y Zn absorbidos durante la digestión intestinal. Shen et al (8) publicaron un método *in vitro* para estimar la disponibilidad de minerales simulando una digestión gastrointestinal. La proporción de los compuestos que se difunden a través de la membrana semipermeable durante la fase intestinal se usa como medida de la disponibilidad del elemento y se les denomina "dializables". Los objetivos del presente trabajo fueron: 1) cuantificar el contenido total y dializable de Fe y Zn en alimentos de Sonora y Oaxaca; 2) evaluar el efecto de la presencia de carne sobre los valores de Fe y Zn dializables en los alimentos.

## MATERIALES Y METODOS

**Selección de Alimentos.** En un listado de alimentos obtenido de un estudio previo en nuestro centro de trabajo (9) se identificaron los alimentos aportadores de Fe y Zn a la dieta de Sonora. Los de mayor consumo fueron: leche, huevo, queso fresco, salchicha, mortadela, jamón, carne molida, carne de cocer, cazón, frijol, tortillas de maíz y tortillas de harina de trigo. En Oaxaca se seleccionaron: pan sierra, pan amarillo, pan yemá, pan rebosado, pan telera y bolillo, tamal de mole con pollo, tamal de amarilló con pollo, tamal de frijol, tortillas de maíz rurales, tortillas de maíz urbanas, caldo de res, pozole de pollo, entomatadas, barbacoa de chivo, albóndigas, enchiladas, amarillo de pollo, ejotes con huevo, sopa de guías, sopa de pasta con menudencias, frijoles negros, tlayudas, tasajo, chorizo de puerco, quesillo y queso fresco. Estos alimentos se compraron ya preparados en su lugar de origen y

se transportaron congelados vía aérea hasta nuestro centro.

**Preparación de las Muestras.** Todas las muestras se homogenizaron en una licuadora Waring Comercial Blendor (Waring Products Corporation of America, New Hartford, Connecticut 060557). Se tomó una fracción de la muestra para determinar el contenido de humedad de acuerdo al método de la AOAC, Sec 925.09 (10) utilizando una estufa para vacío VWR 1430 (VWR Scientific Inc., Philadelphia, PA 19101-3645). El resto de la muestra se secó a 50°C en una estufa BLUE MC-4850-Q (Blue M. Blue Island, IL).

**Cuantificación de Fe y Zn.** La digestión térmica de las muestras se realizó en un horno de microondas (CEM, MDS 2000, Falcon Instruments, México, DF) siguiendo la metodología reportada en el manual de aplicaciones de CEM (11). La cuantificación del Fe y del Zn se realizó según el método de la AOAC sección 968.08 (10), utilizando un espectrómetro de absorción atómica (SpectrAA-20 Varian Techntron Pty Limited, Mulgrave Victoria, Australia) y siguiendo las recomendaciones de operación indicadas en el manual del equipo para Fe y Zn.

**Disponibilidad *in vitro*.** Se determinó mediante la técnica modificada por Shen et al (8), la cual consiste en una digestión físico-enzimática que asemeja condiciones gastrointestinales. En general, a las muestras secas y desgrasadas se les agregó agua deionizada, se les ajustó el pH a 2 y se les agregó pepsina (Sigma Chemical Co., St. Louis, MO). Se mantuvieron durante dos horas a 37°C en un baño con agitación. Posteriormente se tomó una porción de la muestra, se le agregó extracto de bilis-pancreatina y se continuó la digestión en presencia de la membrana de diálisis (Spectra Por, 12-14 000 MW, VWR, South Plainfield, NJ). Una vez obtenido el dializado se cuantificó su contenido de Fe y Zn utilizando absorción atómica (AOAC, sección 968.08)(10) y se aplicó la fórmula reportada por Shen et al (8) para calcular la cantidad dializable de cada mineral.

**Análisis Estadístico.** Las mediciones realizadas en los alimentos se hicieron por triplicado. El análisis de los datos (promedios, desviación estándar, prueba t- student, y análisis de correlación de Spearman) se hizo en el paquete estadístico NCSS60 (12).

## RESULTADOS Y DISCUSION

La validación del método de cuantificación de Fe y Zn total se realizó utilizando hígado de bovino (Bovine Liver 1577b NIST, Gaithersburg, MD 20899). El valor obtenido para Fe fue de  $188.6 \pm 7$  ppm con un coeficiente de variación (CV) de 3.79% y un porcentaje de recuperación de 102.5%. El valor certificado para Fe es  $184 \pm 15$  ppm. Para Zn el valor obtenido fue  $122 \pm 3$  ppm, con un CV de 2.58% y un porcentaje de recuperación de 95.24%. El valor certificado es  $127 \pm 16$  ppm.

El contenido total de Fe y Zn en los alimentos seleccionados de Sonora y de Oaxaca se muestra en las Tablas 1 y 2, respectivamente. El rango de valores de Fe en los alimentos de Sonora fue de  $0.78 \pm 0.0$  a  $11.59 \pm 0.03$  mg/100g (base seca, BS); y en los de Oaxaca de  $0.86 \pm 0.02$  a  $8.8 \pm 0.05$  (BS), sin diferencia estadística significativa entre el promedio de la totalidad de alimentos de Sonora y el promedio de la totalidad de alimentos de Oaxaca. Para Zn, los valores variaron de  $0.91 \pm 0.00$  a  $13.58 \pm 0.05$  mg/100g (BS) en Sonora y de  $0.69 \pm 0.01$  a  $19.06 \pm 0.03$  (mg/100 g, BS) en Oaxaca, sin diferencia estadística significativa entre el promedio de la totalidad de alimentos de Sonora y el promedio de la totalidad de los alimentos de Oaxaca.

TABLA 1

Contenido total de Fe y Zn en alimentos de Sonora, México. Base Seca (mg/100 g)

Alimento	Fe total <sup>1</sup>	Zn total <sup>1</sup>
Frijol cocido	$5.72 \pm 0.00$	$2.43 \pm 0.01$
Tortilla de maíz	$2.62 \pm 0.01$	$2.21 \pm 0.01$
Tortilla de harina de trigo	$3.17 \pm 0.02$	$0.91 \pm 0.00$
Carne molida	$6.27 \pm 0.56$	$11.58 \pm 0.38$
Carne de cocer	$3.74 \pm 0.04$	$13.58 \pm 0.05$
Jamón	$11.59 \pm 0.03$	$4.39 \pm 0.03$
Mortadela	$4.74 \pm 0.44$	$3.42 \pm 0.16$
Salchicha	$4.18 \pm 0.28$	$3.52 \pm 0.07$
Huevo blanco	$6.11 \pm 0.01$	$6.11 \pm 0.01$
Cazón	$2.50 \pm 0.13$	$1.39 \pm 0.00$
Leche de vaca	$0.78 \pm 0.00$	$3.31 \pm 0.03$
Queso fresco regional	$1.10 \pm 0.01$	$7.10 \pm 0.07$

<sup>1</sup> Media  $\pm$  Desviación estándar

En base a las cantidades y frecuencia de consumo, tanto en Sonora como en Oaxaca las tortillas de maíz y el frijol son de los principales alimentos aportadores de Fe y Zn, sin embargo es importante puntualizar que en Sonora se consume frijol pinto mientras que en Oaxaca se consume frijol negro. El contenido de Fe y Zn para el frijol pinto cocido es de  $5.72 \pm 0.00$  y  $2.43 \pm 0.01$  mg/100g (BS), respectivamente (Tabla 1). En frijol negro los valores son de  $6.36 \pm 0.04$  y  $2.65 \pm 0.05$  mg/100g (BS), para los mismos minerales (Tabla 2).

En cuanto a las tortillas de maíz, en la zona serrana de Oaxaca persiste la costumbre de nixtamalizar el maíz a nivel doméstico para su posterior uso en la elaboración de tortillas (tortillas de maíz rurales). En la zona urbana, la elaboración de tortillas se realiza con una mezcla de harina de maíz procesada industrialmente y maíz nixtamalizado de manera doméstica. En Sonora, las tortillas de maíz a nivel comercial son elaboradas únicamente con harina procesada industrialmente. Por esta diferencia y considerando que la harina de maíz pro-

cesada industrialmente está fortificada con Fe y Zn podríamos esperar que las tortillas de maíz de Sonora presenten promedios mayores en el contenido total de ambos minerales. Sin embargo, los resultados de la Tabla 1 no muestran diferencias significativas entre los datos de las tortillas de maíz de Sonora ( $2.62 \pm 0.01$ , mg/100g para Fe y  $2.21 \pm 0.01$  mg/100g para Zn) y las de Oaxaca ( $1.58 \pm 0.03$  mg/100g de Fe y  $1.75 \pm 0.02$  mg/100 g para Zn en las tortillas de maíz urbanas y  $1.45 \pm 0.45$  mg/100 g para Fe y  $1.97 \pm 0.01$  mg/100g de Zn en las tortillas rurales), Tabla 2.

TABLA 2

Contenido total de Fe y Zn en alimentos de Oaxaca, México. Base seca. (mg/100 g).

Alimento	Fe total <sup>1</sup>	Zn total <sup>1</sup>
<b>Panes</b>		
Sierra	$2.31 \pm 0.02$	$1.48 \pm 0.00$
Amarillo	$4.26 \pm 0.02$	$0.69 \pm 0.01$
Yema	$1.79 \pm 0.03$	$1.18 \pm 0.06$
Rebosado	$1.94 \pm 0.13$	$0.66 \pm 0.55$
Telera y Bolillo	$4.55 \pm 0.01$	$0.64 \pm 0.02$
<b>Tortillas de maíz</b>		
Urbanas	$1.58 \pm 0.03$	$1.75 \pm 0.02$
Rurales	$1.45 \pm 0.45$	$1.97 \pm 0.01$
Tlayudas	$2.04 \pm 0.01$	$1.92 \pm 0.01$
<b>Alimentos varios</b>		
Chorizo de puerco	$3.32 \pm 0.01$	$2.06 \pm 0.05$
Quesillo	$1.14 \pm 0.06$	$3.20 \pm 0.03$
Queso fresco	$0.86 \pm 0.02$	$3.03 \pm 0.02$
Frijol negro	$6.36 \pm 0.04$	$2.65 \pm 0.05$
<b>Tamales</b>		
Mole	$5.43 \pm 0.07$	$1.17 \pm 0.03$
Amarillo	$3.80 \pm 0.26$	$1.91 \pm 0.01$
Frijol	$4.64 \pm 0.01$	$2.01 \pm 0.07$
<b>Guisados</b>		
Ejotes con huevo	$7.45 \pm 0.10$	$4.03 \pm 0.05$
Amarillo de pollo	$4.77 \pm 0.01$	$1.89 \pm 0.03$
Caldo de res	$4.63 \pm 0.06$	$6.52 \pm 0.26$
Pozole de pollo	$4.92 \pm 0.01$	$1.90 \pm 0.02$
Entomatadas	$4.56 \pm 0.23$	$1.80 \pm 0.01$
Barbacoa de chivo	$8.88 \pm 0.05$	$19.06 \pm 0.03$
Albóndigas	$3.83 \pm 0.05$	$3.61 \pm 0.00$
Enchiladas	$2.27 \pm 0.05$	$1.34 \pm 0.03$
Sopa pasta con menudencias	$7.81 \pm 0.15$	$4.65 \pm 0.02$
Sopa de guías	$7.51 \pm 0.23$	$3.78 \pm 0.05$
Tasajo	$2.85 \pm 0.03$	$8.37 \pm 0.17$

<sup>1</sup> Media  $\pm$  Desviación estándar

Considerando que la definición de biodisponibilidad incluye digestión, solubilidad, absorción e incorporación de los nutrientes en los procesos metabólicos, es comprensible que resulte imposible medir la biodisponibilidad de los minerales

mediante métodos *in vitro*. Por lo tanto, y partiendo de que posiblemente la digestión y la solubilidad sean los únicos eventos independientes de controles hormonales y nutricionales, la cuantificación de minerales dializables se considera una medida predictora de tendencias y representa una medida aproximada de la cantidad disponible para absorción (13). Wyatt et al (14) cuantificaron calcio y fósforo dializable en dietas mexicanas y mostraron las mismas tendencias que al evaluar el efecto de las dietas sobre la composición y el crecimiento del fémur de ratas. Luten et al (15) midieron el Fe dializable en tres platillos diferentes y concluyeron que a pesar de que la repetibilidad de las determinaciones varió considerablemente, el método es aceptable ya que los resultados fueron semejantes a los obtenidos en un estudio *in vivo*. Bosscher et al (16) publicaron que el método *in vitro* basado en la cuantificación de elementos dializados después de simular el proceso de digestión gastrointestinal, es adecuado para predecir la disponibilidad de calcio, Fe y Zn en alimentos infantiles. Pérez-Llamas et al (17) reportaron que este método fue útil para investigar la influencia de diferentes tipos de proteínas sobre la disponibilidad de Fe y Zn.

La Tabla 3 presenta los resultados obtenidos para Fe y Zn dializable en alimentos de Sonora y en la Tabla 4 los que corresponden a alimentos de Oaxaca. El promedio de Fe dializable de la totalidad de los alimentos de Sonora se comparó con el promedio de la totalidad de los alimentos de Oaxaca sin mostrar diferencia estadística significativa. Pero considerando que el frijol y las tortillas de maíz son de los principales alimentos aportadores de Fe y Zn en las dietas de Sonora y Oaxaca procedimos a comparar sus contenidos dializables, sin encontrar diferencia significativa entre el contenido de Fe dializable de las tortillas de maíz de Sonora ( $2.2 \pm 0.66\%$ ) y las de la zona urbana de Oaxaca ( $0.66 \pm 0.04\%$ ). Al hacer la comparación entre el contenido de Fe dializable del frijol de Sonora con el del frijol negro de Oaxaca se encontraron diferencias significativas ( $p = 0.0003$ ), al igual que entre las tortillas de maíz de Sonora y las rurales de Oaxaca,  $p = 0.016$  ( $1.02 \pm 0.09\%$  para el frijol negro de Oaxaca,  $2.34 \pm 0.05\%$  para frijol de Sonora,  $0.46 \pm 0.02\%$ , para las tortillas de maíz rurales de Oaxaca y  $2.2 \pm 0.66\%$  para tortillas de maíz de Sonora). El contenido de Fe dializable de las tortillas de maíz rurales y las urbanas de Oaxaca fue significativamente diferente ( $p = 0.004$ ). El contenido de Fe dializable del frijol de Oaxaca corresponde a un 43% del de Sonora. Este hecho, aunado a un menor consumo de alimentos aportadores de Fe en Oaxaca podría ser una explicación de la diferencia en la prevalencia de anemia por deficiencia de Fe entre los niños de Oaxaca y Sonora (18).

Respecto al Zn consideramos que es necesario observar las diferencias en el consumo total de los alimentos entre las dos poblaciones estudiadas, ya que la comparación del contenido dializable entre los principales alimentos aportadores de

las dietas de Sonora y Oaxaca no mostró diferencias significativas ( $17.29 \pm 0.07\%$  de Zn dializable en el frijol de Oaxaca y  $23.48 \pm 2.33\%$  en el de Sonora;  $9.55 \pm 0.27$  y  $6.89 \pm 0.22\%$  para las tortillas de maíz urbanas y rurales de Oaxaca y  $8.0 \pm 0.14\%$  en las de Sonora). La diferencia entre el contenido de Zn dializable de las tortillas urbanas y las rurales de Oaxaca fue significativa ( $p = 0.008$ ).

TABLA 3

Contenido de Fe y Zn dializable en alimentos de Sonora (%)

Alimento	Fe dializable <sup>1</sup>	Zn dializable <sup>1</sup>
Frijol cocido	$2.34 \pm 0.05$	$23.48 \pm 2.33$
Tortilla de maíz	$2.2 \pm 0.66$	$8 \pm 1.01$
Tortilla de harina de trigo	$2.8 \pm 0.16$	$8.8 \pm 1.52$
Jamón	$3.25 \pm 0.07$	$18.85 \pm 1.49$
Mortadela	$1.25 \pm 0.15$	$5.4 \pm 0.51$
Salchicha	$3.85 \pm 0.61$	$18.05 \pm 1.99$
Huevo blanco	$0.1 \pm 0.04$	$10 \pm 0.99$
Cazón	$5.7 \pm 0.04$	$4 \pm 0.21$
Leche de vaca	$5.2 \pm 0.43$	$16.9 \pm 0.08$
Queso fresco regional	$0.7 \pm 0.14$	$15 \pm 1.59$
Carne de res frita (molida)	$8.0 \pm 0.14$	$55.32 \pm 0.14$
Carne de res cocida	$10.6 \pm 0.36$	$34.87 \pm 1.86$

<sup>1</sup>Media  $\pm$  Desviación estándar

En mujeres del norte de México en edad reproductiva el consumo de Fe es de 12 a 17 mg diarios y el de Zn de 1.6 mg (19). El promedio de consumo estimado de tortilla de maíz y de tortilla de harina de trigo, de 150 mujeres en edad reproductiva de la misma región, fue de 94 y 82 g/día, mientras que el de frijol fue de 147 g diarios (19). En base a esos consumos se calculó un aporte de 1.24, 1.85 y 3.3 mg de Fe y 1.04, 0.53 y 1.4 mg de Zn a partir de la tortilla de maíz, tortilla de harina de trigo y frijol, respectivamente. La cantidad de Fe aportado por ambas tortillas y por el frijol (6.39 mg) corresponde a un 44% del Fe total de la dieta de las mujeres. De igual manera, los mismos alimentos aportan el 25.6% del Zn dietario (2.97 mg). Considerando los datos de Fe y Zn dializable de la Tabla 3 calculamos valores de 0.03, 0.05 y 0.08 mg de Fe dializable y 0.08, 0.05 y 0.33 mg de Zn dializable de tortillas de maíz, tortilla de harina de trigo y frijol, respectivamente. De esta forma podemos observar que de los 6.39 mg de Fe aportados por ambas tortillas y por el frijol, solo 0.16 mg están disponibles para absorción, mientras que de los 2.97 mg de Zn aportados por los mismos alimentos solo están disponibles 0.46 mg. Estos resultados apoyan la observación de que cubrir la recomendación de consumo diario de Fe y Zn a partir de los alimentos analizados podría ser insuficiente para reemplazar las pérdidas obligatorias de los adultos, dada su baja disponibilidad.

En leche de vaca, Stekel et al (20) reportaron valores que

varían entre 2.9 y 5.1% para Fe dializable en fórmulas lácteas para niños. En nuestro trabajo el resultado fue de  $5.2 \pm 0.43\%$  (Tabla 3). Para Zn disponible, los valores reportados varían desde un 6% hasta un  $49.5 \pm 18.5\%$  dependiendo de la técnica y del modelo experimental utilizado (8, 21-23). En nuestro estudio el valor obtenido fue de  $16.9 \pm 0.08\%$ .

**TABLA 4**  
Contenido de Fe y Zn dializable en alimentos de Oaxaca, México (%)

Alimento	Fe dializable <sup>1</sup>	Zn dializable <sup>1</sup>
<b>Panes</b>		
Sierra	$0.22 \pm 0.06$	$7.16 \pm 0.02$
Amarillo	$1.82 \pm 0.08$	$6.64 \pm 0.19$
Yema	$0.53 \pm 0.07$	$2.61 \pm 0.11$
Rebosado	$2.16 \pm 0.03$	$6.30 \pm 0.28$
Telera y Bolillo	$0.97 \pm 0.01$	$2.41 \pm 0.26$
<b>Tortillas de maíz</b>		
Urbanas	$0.66 \pm 0.04$	$9.55 \pm 0.27$
Rurales	$0.46 \pm 0.02$	$6.89 \pm 0.22$
Tlayudas	$0.67 \pm 0.01$	$7.39 \pm 0.14$
<b>Alimentos varios</b>		
Chorizo de puerco	$6.34 \pm 0.05$	$31.68 \pm 1.46$
Quesillo	$5.94 \pm 0.11$	$45.97 \pm 0.95$
Queso fresco	$6.62 \pm 0.10$	$54.27 \pm 1.49$
Frijol negro	$1.02 \pm 0.09$	$17.29 \pm 0.07$
<b>Tamales</b>		
Mole	$2.68 \pm 0.08$	$4.97 \pm 0.47$
Amarillo	$1.31 \pm 0.15$	$7.37 \pm 0.88$
Frijol	$1.67 \pm 0.20$	$15.65 \pm 1.22$
<b>Guisados</b>		
Ejotes con huevo	$0.88 \pm 0.01$	$16.95 \pm 0.32$
Amarillo de pollo	$3.02 \pm 0.37$	$41.37 \pm 0.07$
Caldo de res	$7.41 \pm 0.09$	$31.91 \pm 0.42$
Pozole de pollo	$5.69 \pm 0.28$	$26.17 \pm 0.05$
Entomatadas	$2.68 \pm 0.33$	$20.26 \pm 0.12$
Barbacoa de chivo	$2.52 \pm 0.11$	$16.86 \pm 0.98$
Albóndigas	$3.67 \pm 0.07$	$32.81 \pm 0.22$
Enchiladas	$3.25 \pm 0.17$	$30.88 \pm 0.07$
Sopa past. mend.	$2.25 \pm 0.08$	$27.63 \pm 0.06$
Sopa de guías	$3.62 \pm 0.34$	$35.75 \pm 2.03$
Tasajo	$9.40 \pm 0.14$	$23.88 \pm 0.28$

<sup>1</sup>Media  $\pm$  Desviación estándar

De acuerdo a Monsen (24) la disponibilidad del Fe hemínico varía de un 15 a un 35% y la del no hemínico del 2 al 20%. Para 25 dietas comúnmente consumidas en Estados Unidos, Reddy et al (25) reportaron valores de disponibilidad de Fe entre 1.2 y 19.7%. En nuestro estudio, el Fe dializable fue de  $9.40 \pm 0.14$  en carne de res de Oaxaca (tasajo) y de  $8 \pm 0.14\%$  en carne de res frita (molida) de Sonora, mientras que

el Zn fue de  $23.88 \pm 0.28$  y de  $55.32 \pm 0.14\%$  en las mismas muestras.

Al comparar los contenidos dializables de ambos minerales entre los alimentos que contenían carne y los que no la contenían el promedio fue mayor y significativamente diferente para Fe dializable en los alimentos que contenían carne ( $p=0.001$ ). El efecto favorecedor de la carne (de res, pollo, pescado, puerco, etc) sobre la absorción del Fe ha sido ampliamente estudiado (13). Baech et al (26) sugieren que las proteínas de alto peso molecular contenidas en la carne tienden a polimerizarse a temperaturas elevadas, y que dichos polímeros afectan de manera positiva la absorción del Fe no heme, sin embargo consideran que esta hipótesis necesita más investigación. Hurrell et al (27) consideran la posibilidad de que el efecto favorecedor de la carne sobre la absorción del Fe sea a través de algún mecanismo fisiológico como por ejemplo la estimulación de secreciones intestinales.

Respecto a la interferencia en la absorción de un mineral por efecto de otro mineral, los reportes referidos a Fe y Zn son controversiales. Flanagan et al (28), Rosander-Hulten et al (29) y Dijkhuizen et al (30) sostienen que el Fe y el Zn no presentan interacciones competitivas para su absorción. Sin embargo, Monsen (24) y Sandstrom (31) señalaron que dichos minerales sí compiten, de tal manera que es posible encontrar un efecto negativo de la absorción de uno sobre el otro. Goddard et al (32) y Herman et al (6) publicaron que el Zn tiene un efecto negativo sobre la absorción del Fe, mientras que Solomons y Jacob (7), Solomons (33) y Linder (2) publicaron que una elevada cantidad de Fe no heme inhibe la absorción de iones de Zn. En el presente trabajo los resultados del total de los alimentos mostraron una relación negativa entre el contenido de Fe total y el porcentaje de Zn dializable ( $r = -0.37$ ;  $p = 0.02$ ).

Este estudio muestra que a pesar de que las dietas mexicanas contienen diferentes variedades de frijol y diferentes tipos de cereales (maíz y trigo) no presentan diferencias significativas en las cantidades totales de Fe y Zn. Al analizar los datos de los principales alimentos aportadores de Fe y Zn (tortillas y frijoles) se estimó una mayor disponibilidad de Fe en los alimentos del norte del país.

Diversos estudios han reportado que la presencia de alimentos de origen animal en la dieta favorece el crecimiento de los niños y que esto puede deberse a un mayor aporte de micronutrientes en sus dietas (34,35). Si bien la cantidad de Zn dializable no fue diferente entre los alimentos de consumo más frecuente de Sonora y Oaxaca, las diferencias en Fe dializable en las dietas sonorenses puede significar, en conjunto con la presencia de alimentos de origen animal, un mejor desarrollo psicomotor de los niños del norte de México. En el caso del crecimiento físico no podemos aseverar que la diferencia en la disponibilidad del Fe de la dieta del norte de México esté asociada al crecimiento de los niños

sonorenses ya que según Allen (34), el papel del Fe en el crecimiento físico se ha observado de forma contradictoria en un buen número de estudios.

Finalmente y atendiendo a que la composición de la dieta puede afectar la absorción de los minerales, se recomienda que la medición de la disponibilidad de Fe y Zn se realice de acuerdo a la composición total o integral de las dietas regionales para que los resultados reflejen el efecto conjunto de los inhibidores y de los favorecedores de la absorción.

## REFERENCIAS

- Sizer F and Whitney E. Nutrition concepts and controversies. 6<sup>th</sup> edition. St. Paul: West Publishing Company; 1994:282-288
- Linder MC. Nutrition and metabolism of the trace elements. En: Linder, M.C. editors. Nutritional Biochemistry and Metabolism with Clinical Applications. Appleton & Lange; 1991; pp. 216-270.
- Zimmermann MB, Chaouki N, and Hurrell RF. Iron deficiency due to consumption of a habitual diet low in bioavailable iron: a longitudinal cohort study in Moroccan children. 2005;81:115-21.
- Sandström B. Bioavailability of zinc. European J Clin Nutr 1997; 51 (1): S17-S19.
- Crofton RW, Gvozdanovic O, Gvozdanovic S, Khin Ch, Brunt PW, Mowat NA, and Aggett P. Inorganic zinc and the intestinal absorption of ferrous iron. Am J Clin Nutr 1989;50:141-4.
- Herman S, Griffin IJ, Suwanti S, Ernawati F, Permaesih D, Pambudi D, and Abrams SA. Cofortification of iron-fortified flour with zinc sulfate, but not zinc oxide, decreases iron absorption in Indonesian children. Am J Clin Nutr 2002; 76(4): 813-817.
- Solomons NW, and Jacob RA. Studies on the bioavailability of zinc in humans: effects of heme and non heme iron on the absorption of zinc. Am J Clin Nutr 1981;34:475-482.
- Shen L, Robberecht H, Van Dael P, and Deelstra H. Estimation of the bioavailability of zinc and calcium from human, cow's, goat, and sheep milk by an in vitro method. Biological Trace Element Research 1995;49: 107-118.
- Quizán PT, y Ortega I. Diseño y validación de una herramienta para identificar riesgo dietario en mujeres adultas de bajo ingreso. Nutr Clin 2000; 3(4): 128-135.
- AOAC. Official Methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemists, 5th ed.; Helrich K, ed; AOAC: Washington, DC.1995
- CEM. Applications Manual. Microwave Sample Preparation System. CEM Corporation. USA 1991.
- NCSS 60. Statistical System for Windows. Number Cruncher Statistical System. Kaysville, Utah. 1997.
- Hurrell RF. Bioavailability of iron. Eur J Clin Nutr 1997;51 S1:S4-S8.
- Wyatt CJ, Hernández ME, Méndez RO, and Valencia M. Effect of different calcium and phosphorus content in Mexican diets on rat femur bone growth and composition. Nutr Res 2000; 20 (3):427-437.
- Luten J, Crews H, Flynn A, Dael P, Kastenmayer P, Hurrell R, Deelstra H, Shen L, Fairweather-Tait S, Hickson K, Farré R, Schlemmer U, Frohlich W. Interlaboratory trial on the determination of the in vitro iron dialysability from food. J Sci Food Agric 1996; 72:415-24.
- Bosscher D, Lu I, Van Cauwenbergh R, Van Caillie-Bertrand M, Robberecht H, and Deelstra H. A method for in vitro determination of calcium, iron and zinc availability from first-age infant formula and human milk. Int. J Food Sci Nutr 2001; 52 (2): 173-182.
- Pérez-Llamas F, Diepenmaat-Wolters MGE, and Iamora S. Influence of different types of protein on in vitro availability of intrinsic and extrinsic iron and zinc. J Sci Food Agric 1997;75:303-311.
- Wyatt CJ, Valencia ME, Triana MA. Iron deficiency in children in México: A contrasting situation. Recent Res Devel Agr Food Chem 2000; 4: 233-238.
- Ortega MI, Valencia ME. Measuring the intake of foods and nutrients of marginal populations. Public Health Nutrition. 2002; 5 (6A): 907-910.
- Stekel A, Olivares M, Pizarro F, Chadud P, Lopez I, and Amar M. Absorption of fortification iron from milk formulas in infants. Am J Clin Nutr 1986;43:917-922.
- Sandström B, Cederblad A, and Lonnerdal B. Zinc absorption from human milk, cow's, and infant formulas. Am J Ois Child 1983; 137 (8): 726-729.
- Sandström B, Keen CL, and Lonnerdal B. An experimental model for studies of zinc bioavailability from milk and infant formulas using extrinsic labeling. Am J Clin Nutr 1983 ;38 (3): 420.
- Abrams SA, Wen J, and Stuff JE. Absorption of calcium, zinc, and iron from breast milk by five- to seven-month-old infants. Pediatric Research 1997;41: 384-90.
- Monsen ER. Iron nutrition and absorption: dietary factors which impact iron bioavailability. J Am Diet Assoc 1988; 88:786-790.
- Reddy MB, Hurrell RF, and Cook JD. Estimation of nonheme-iron bioavailability from meal composition. Am J Clin Nutr 2000; 71: 937 - 943.
- Baech SB, Hansen M, Bukhave K, Kristensen L, Jensen M, Sorensen S, and Sandstrom B. Increasing the cooking temperature of meat does not affect non heme iron absorption from a phytate-rich meal in women. J Nutr 2003; 133:94-97
- Hurrell RF, Lynch SR, Trinidad TP, Dassenko SA, and Cook JD. Iron absorption in humans: bovine serum albumin compared with beef muscle and egg white. Am J Clin Nutr 1988; 47: 102 -107.
- Flanagan PR, Haist J, MacKenzie, and Valberg L. Intestinal absorption of zinc: competitive interactions with iron, cobalt, and copper in mice with sex linked anemia (sla). Can J Physiol Pharmacol 1984; 62 (9): 1124-8.
- Rossander-Hulten L, Brune M, Lonnerdal B, and Hallberg L. Competitive inhibition of iron absorption by manganese and zinc in humans. Am J Clin Nutr 1991 ;54 (1): 152-6.
- Dijkhuizen MA, Wieringa FT, West CE, Martuti S, and Muhilal. Effects of iron and zinc supplementation in Indonesian infants on micronutrient status and growth. J Nutr 2001; 131 (11): 2860-2865.

31. Sandström B. Micronutrient interactions: effects on absorption and bioavailability. *Br J Nutr* 2001; 85 (2): S181-S185.
32. Goddard WP, Coupland K, Smith JA, and Long RG. Iron uptake by isolated human enterocyte suspensions in vitro is dependent on body iron stores and inhibited by other metal cations. *Am J Clin Nutr* 1997; 127 (1): 177-183.
33. Solomons NW. Competitive interaction of iron and zinc in the diet: consequences for human nutrition. *J Nutr* 1986;116 (6):927-935.
34. Allen LH, Gillespie SR. ACC/SCN. What works? A review of the efficacy and effectiveness of nutrition interventions. ACC/SCN: Geneva in collaboration with the Asian Development Bank, Manila, 2001. Nutrition Policy Paper No. 19: 33-34.
35. Allen LH, Bacstrand JR, Stanek EJ, Pelto GH, Chavez A, Molina E. The interactive effects of dietary quality on the growth and attained size of young Mexican children. *Am J Clin Nutr* 1992; 56:353-364.

Recibido: 27-04-2004

Aceptado: 30-05-2005