

EFECTO DE LOS PROCESOS TECNOLOGICOS Y DE LA FORTIFICACION SOBRE EL CONTENIDO DE MINERALES Y HIERRO DISPONIBLE *in vitro* EN MEZCLAS VEGETALES

Margarita Armada de Romano¹ y Carmela Adamo²

Instituto de Investigaciones para la Industria Química (INIQUI),
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET),
Universidad Nacional de Salta
Salta, Argentina

RESUMEN

Se determinaron los contenidos de hierro, calcio, zinc y ácido fólico de mezclas vegetales elaboradas a partir de trigo, maíz y soja. La utilización de soja en productos compuestos, en sustitución de trigo y maíz, aporta una cantidad apreciable de hierro y calcio a las mezclas, en tanto que no modifica en forma significativa el contenido inicial de ácido fólico del trigo ni del maíz.

Los procesos tecnológicos de descascarado e inactivación de enzimas denotan poca influencia sobre el contenido de minerales en soja, y el de extrusión en la cantidad de hierro soluble en mezclas.

La incorporación de soja en mezclas vegetales disminuye considerablemente la disponibilidad *in vitro* del hierro, en tanto que la fortificación con mezclas de minerales interfiere levemente disminuyendo la disponibilidad del hierro, respecto a las mezclas vegetales fortificadas sólo con dicho mineral.

INTRODUCCION

En el consumo de alimentos influyen factores geográficos, económicos, sociales, culturales, fisiológicos, etc., que en los países en vías de desarrollo originan dietas con niveles característicos de ingesta de nutrientes.

En dietas de la Provincia de Salta, por ejemplo, se detectaron deficiencias en minerales, con una adecuación de la ingesta de 34.60/o de calcio y de 68.50/o de hierro (1). También se encontró 14.90/o de anemia en

Manuscrito modificado recibido: 6-3-87.

- 1 Ingeniera Química, Profesora Adjunta en Tecnología de Alimentos, Instituto de Investigaciones para la Industria Química (INIQUI), Universidad Nacional de Salta, Buenos Aires 177 - 4400 Salta, Argentina.
- 2 Licenciada en Química, Auxiliar de Investigación del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Universidad Nacional de Salta.

embarazadas de la ciudad, y 32.30/o en mujeres con deficiencia de hierro, mientras que en una villa suburbana, el 52º/o de ellas, acusaban deficiencias (2).

El hecho que la anemia por deficiencia de hierro es aún condición común, indica que no todo el hierro presente en los alimentos es capaz de ser absorbido (3).

En contraste con los de fuentes de origen animal, los minerales a partir de alimentos vegetales generalmente son poco utilizados por el hombre y otros animales monogástricos. Se ha comentado que factores endógenos tales como ácido fítico, fibras, proteínas quelantes de minerales, etc., son causa de la reducida absorción de minerales a partir de alimentos vegetales. La interacción entre minerales como calcio y fósforo, hierro y cobre, cadmio y zinc, etc. también es importante (4, 5).

La fuente y la forma química del hierro en la dieta puede afectar notablemente su disponibilidad para la absorción. Es probable que la capacidad del organismo para absorber el hierro proveniente de vegetales esté influenciada por varios factores; aumenta si estos últimos se combinan con alimentos de origen animal y, por el contrario, la absorción del hierro de fuentes animales disminuye en combinación con alimentos de origen vegetal (6). Es evidente que estos últimos contienen factores inhibidores que impiden la absorción, no sólo del hierro intrínseco, sino también el proveniente de otros alimentos (7).

A partir de estudios realizados en humanos, se ha informado una inhibición sustancial en la absorción de hierro asociado a productos de soja. Al sustituir albúmina de huevo como fuente purificada, por harina de soja desgrasada, harina de soja texturizada y aislados proteínicos de soja, la absorción de hierro se redujo en 82, 65 y 92º/o, respectivamente (8).

La soja contiene sustancias como el ácido fítico que disminuye la biodisponibilidad de minerales, hierro y zinc, por ejemplo. En distintas condiciones investigadas en lo que a la reacción del zinc con el ácido fítico concierne, sólo un 25º/o de los complejos aislados tienen relaciones atómicas estequiométricas (9).

Varios autores han encontrado que reemplazando carne por proteína de soja, ésta inhibe notoriamente la absorción de hierro no hemínico de las comidas (10).

Nuevos estudios han revelado que el efecto inhibitor, atribuido a los aislados proteínicos de soja, podría no ser eliminado por calentamiento o por adición de mejoradores como el ácido ascórbico y carne de las dietas. El mecanismo preciso de este efecto de la soja todavía no ha sido dilucidado, pero parece ser que la influencia de la absorción del hierro es aún más pronunciada cuando el total de proteínas en una dieta la aporta la soja (11).

El procesamiento tecnológico puede modificar la biodisponibilidad de un mineral en particular, en un alimento. Aproximadamente el 70º/o del fitato de un aislado de proteína de soja se perdió al someterse al autoclave durante dos horas. Se encontró que la harina de soja desgrasada liga más hierro, calcio y magnesio al pH de 6.8 que al pH de 5.0, pero la situación inversa ocurre con el zinc. El testado también produce un significativo incremento de zinc y calcio ligado a ambos valores de pH (12, 13).

Asimismo, la forma de adición de los minerales de fortificación, calcio y zinc, por sus distintas maneras de interacción, incide en la absorción

de hierro (14).

Los métodos *in vitro* para predecir la biodisponibilidad de hierro, se han concentrado en la duplicación del medio ambiente químico del estómago y del intestino. Los alimentos son incubados en ácido clorhídrico que contiene pepsina a 37°C; luego la solución se ajusta al pH de 7.5, encontrándose que la fracción de hierro que es ionizable, correlaciona bien con el porcentaje de hierro absorbido en estudios humanos (15).

En el presente trabajo se determinó el contenido de hierro, calcio, zinc y ácido fítico, en mezclas vegetales preparadas a partir de trigo, maíz y soja. Por otra parte, se observaron los efectos de tratamientos tecnológicos y fortificaciones en el contenido de minerales, y en la disponibilidad de hierro *in vitro* de dichos productos.

MATERIAL Y METODOS

Se evaluaron los productos siguientes: grano de soja (G); granos de soja descascarados en forma mecánica (G.D.); harina de soja inactivada mediante tratamiento térmico con vapor a 98°C durante 6 minutos (H.S.); harina 000 (T); sémola de maíz (M); harina de trigo:soja (90:10) (T.S.); sémola maíz:soja (70:30) (M.S.); y extruido de maíz:soja (70:30) (E), producido en la Planta Piloto de Alimentos del INIQUI; (H.S.), (T), (M), (T.S.), (M.S.) y (E) fortificados con hierro, y con mezclas de minerales conteniendo hierro, calcio y zinc.

En la preparación de las muestras, éstas se molieron, pasándose por una malla 60 A.S.T.M.

Para la fortificación con los minerales hierro, calcio y zinc se utilizaron las cantidades recomendadas por la Secretaría de Agricultura de los Estados Unidos de América para cubrir parte considerable de las ingestas adecuadas. Se utilizó en la adición 1% de pantotenato de calcio, 0.046% de fumarato ferroso y 0.004% de $Zn SO_4 \cdot 7H_2 O$.

Las muestras se sometieron a análisis para determinar su contenido de humedad y cenizas, así como de calcio y zinc (por espectrometría de absorción atómica), según los métodos oficiales de la AOAC (16). En la determinación de hierro se aplicó el procedimiento colorimétrico con el reactivo de $\alpha - \alpha$ dipiridilo (20).

El dosaje de ácido fítico se realizó mediante la técnica que lo extrae con T.C.A. (30%) y lo precipita como fitato férrico (17). Se utilizó la relación Fe:P (4:6), y en la expresión de resultados como porcentaje de ácido fítico, se tuvo en cuenta que el 28.2% de la molécula corresponde al fósforo (18).

La determinación de hierro soluble se efectuó combinando los procedimientos descritos por Jacobs y Greenman (19). El hierro ionizable fue determinado espectrofotométricamente con el reactivo $\alpha - \alpha$ dipiridilo (20).

El análisis estadístico de los datos se hizo por análisis de varianza, estableciéndose comparación de medias mediante la prueba de Tukey.

RESULTADOS Y DISCUSION

En la Figura 1 se observa la influencia del procesamiento tecnológico. Según se aprecia, en el descascarado del grano de soja, los minerales, hierro, calcio y zinc decrecen en su contenido inicial, entre 70/o y 150/o, mientras que el ácido fítico decrece casi en 220/o su contenido inicial. En cuanto al tratamiento térmico para inactivar factores indeseables en el grano, éste no influye en forma significativa sobre el contenido total de minerales.

La harina de soja fortificada con los minerales hierro, calcio y zinc, incrementa su contenido de minerales en aproximadamente cinco veces en el caso del hierro, mientras que el calcio y zinc prácticamente duplican su contenido inicial.

El bajo contenido de minerales en la harina de trigo, comparado con el de la harina de soja, se observa en la Figura 2. En la producción de harina compuesta trigo:soja (90:10), esta última aporta una cantidad importante de minerales a la mezcla. Así, el trigo prácticamente triplica su contenido inicial de hierro y duplica el de calcio.

Con respecto al maíz, en la Figura 3 también se aprecia un bajo contenido de minerales en comparación con el del grano de soja descascarado, acentuándose esta diferencia en el contenido de calcio.

En los extruñdos de maíz:soja (70:30), ocurre que el contenido inicial de hierro en el maíz se duplica, mientras que el calcio aumenta casi 15 veces el valor inicial.

Salta a la vista la importante contribución de la soja para con la mezcla en lo que a calcio se refiere, ya que el 260/o del incremento total en el extruido fortificado se debe al aporte de la soja.

En la Tabla 1 se observa que, en cuanto al contenido de hierro, la harina de soja fortificada con éste acusa diferencias significativas respecto de la soja sin fortificar. No ocurre así en el caso del trigo y del maíz, con o sin fortificación, y tampoco en el de los distintos tratamientos de fortificación de la soja.

Las harinas de soja, trigo y maíz, fortificadas con igual cantidad de hierro, tienen distintos contenidos de hierro soluble, según se observa en la Tabla 2. No se presentan diferencias significativas entre la soja, con y sin fortificación, en tanto que el trigo y maíz fortificados, sí acusan diferencias en cuanto al contenido de hierro soluble, en relación a dichos cereales sin fortificar.

A partir de los datos en la Tabla 1 y en la Tabla 2, se aprecia que el contenido de hierro total en las muestras no tiene relación directa con el contenido de hierro soluble de las mismas. El mayor aporte relativo de hierro soluble corresponde al trigo, con aproximadamente 580/o de hierro soluble respecto a su contenido total de hierro, en contraste con el maíz con 150/o, y la soja, con 80/o. Así, el trigo resulta ser un vehículo más eficaz para la fortificación con hierro, dado que en la soja existen factores que inhiben en forma importante la disponibilidad *in vitro* de ese mineral.

En las harinas de soja, maíz y trigo, los minerales presentes en la mezcla de fortificación interfieren levemente con la disponibilidad *in vitro* del hierro, disminuyendo ésta respecto a la fortificación con sólo sal férrica.

En cuanto a las harinas compuestas, en la Tabla 3 se puede apreciar que el contenido total de hierro de las mismas, fortificadas sólo con

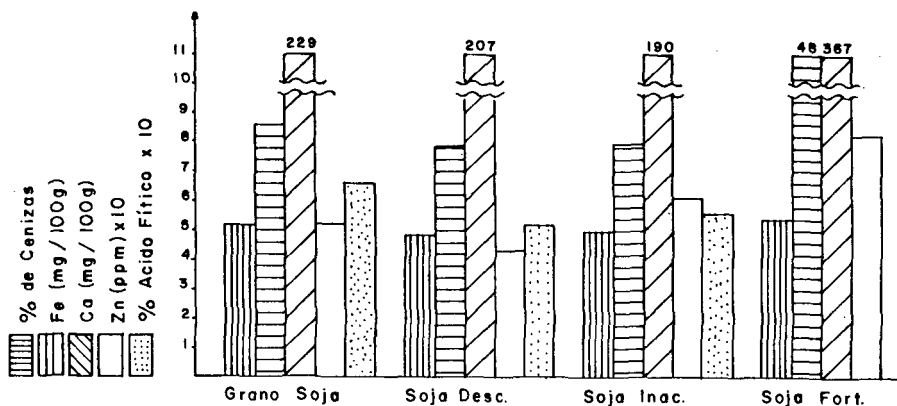


FIGURA 1

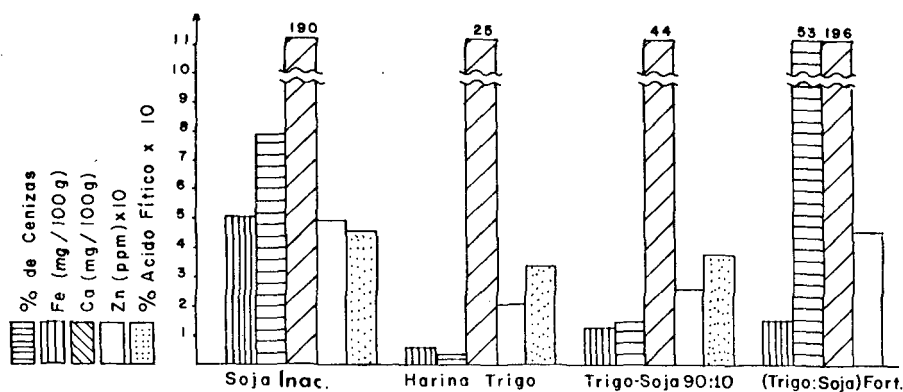


FIGURA 2

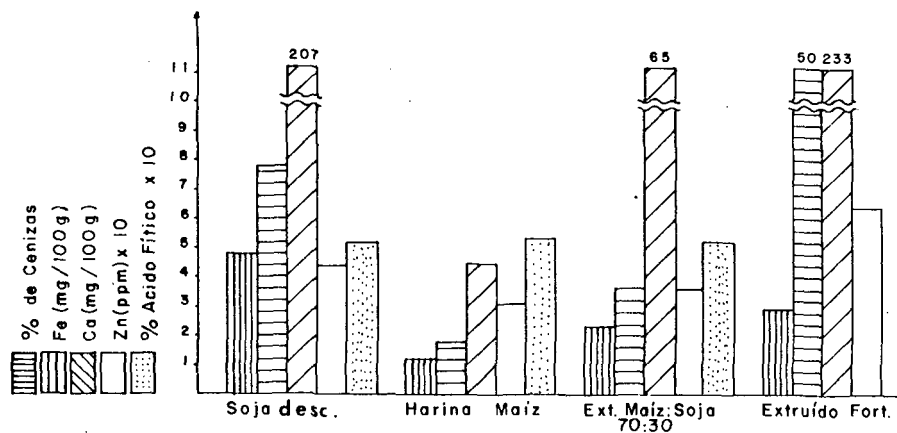


FIGURA 3

TABLA 1

HIERRO TOTAL (mg Fe/100 g de muestra)

| Tratamiento | Muestra | | |
|----------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | Soja | Trigo | Maíz |
| — | 8.49 ^b ± 0.01 | 0.52 ^b ± 0.02 | 1.73 ^b ± 0.06 |
| Fe++ | 44.75 ^a ± 0.48 | 9.37 ^b ± 0.06 | 8.35 ^b ± 0.006 |
| Mezcla mineral | 47.33 ^a ± 0.58 | 11.39 ^b ± 0.21 | 9.33 ^b ± 0.15 |

Las letras iguales no indican diferencias significativas para $P \leq 0.05$.

TABLA 2

HIERRO SOLUBLE (mg Fe soluble/100 g de muestra)

| Tratamiento | Muestra | | |
|----------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | Soja | Trigo | Maíz |
| — | 0.72 ^b ± 0.03 | 0.30 ^c ± 0.007 | 0.26 ^c ± 0.05 |
| Fe++ | 2.05 ^{bc} ± 0.05 | 7.20 ^a ± 0.007 | 3.21 ^b ± 0.005 |
| Mezcla mineral | 0.97 ^{bc} ± 0.01 | 7.07 ^a ± 0.06 | 3.02 ^b ± 0.01 |

Las letras iguales no indican diferencias significativas para $P \leq 0.005$.

TABLA 3

HIERRO TOTAL (mg Fe/100 g de muestra)

| Tratamiento | Muestra | | |
|----------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | Trigo:soja | Maíz:soja | Ext. (maíz:soja) |
| — | 1.39 ^e ± 0.03 | 3.56 ^b ± 0.03 | 4.08 ^d ± 0.03 |
| Fe++ | 8.25 ^c ± 0.47 | 10.30 ^{ab} ± 0.64 | 10.13 ^{ab} ± 0.60 |
| Mezcla mineral | 8.02 ^c ± 0.03 | 9.41 ^b ± 0.02 | 11.10 ^a ± 0.29 |

Las letras iguales no indican diferencias significativas para $P \leq 0.05$.

hierro o mezcla de minerales, no muestra diferencias significativas, pero sí acusa diferencias significativas en las mismas harinas sin fortificar.

Según revela la Tabla 4, el contenido de hierro soluble de las harinas compuestas fortificadas con ambos tratamientos, no presenta diferencias

TABLA 4

HIERRO SOLUBLE (mg Fe soluble/100 g de muestra)

| Tratamiento | Muestra | | |
|----------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|
| | Trigo: soja | Maíz: soja | Ext. (maíz: soja) |
| — | 0.57 ^f ± 0.02 | 1.29 ^{ef} ± 0.02 | 1.92 ^{de} ± 0.05 |
| Fe + + | 3.49 ^{ab} ± 0.01 | 3.91 ^a ± 0.06 | 2.67 ^{cd} ± 0.14 |
| Mezcla mineral | 3.15 ^{abc} ± 0.05 | 3.35 ^{ab} ± 0.05 | 2.19 ^{cae} ± 0.26 |

Las letras iguales no indican diferencias significativas para $P \leq 0.05$.

significativas. En cambio, estas diferencias sí se aprecian en las muestras fortificadas respecto de las mismas sin fortificar.

En las mezclas de cereal:soja el contenido relativo de hierro soluble aumenta considerablemente respecto al contenido de hierro total. Mejora así la disponibilidad *in vitro* de las mismas en relación a la harina de soja, y la fortificación con mezcla de minerales es levemente menos efectiva que la fortificación con hierro solo.

La sustitución del trigo con 10^o/o de soja disminuye el contenido relativo del hierro soluble respecto al Fe total del trigo, en valores próximos a la mitad. En cambio, cuando un 30^o/o de soja sustituye al maíz, prácticamente no afecta la disponibilidad relativa del hierro soluble correspondiente al cereal, tanto en el caso de harinas compuestas fortificadas, como en las sin fortificar.

En el extruido de maíz: soja, no se observa que el proceso tecnológico influya sobre la disponibilidad *in vitro* del hierro. Los contenidos de Fe soluble en éstos, son similares a los dosados en mezclas de maíz:soja, con y sin fortificación.

CONCLUSIONES

En base a los hallazgos comentados, los autores llegaron a las siguientes conclusiones:

El contenido inicial de minerales en el grano de soja es poco afectado por el proceso tecnológico de descascarado.

En la harina de trigo: soja (90:10), la última resulta ser un importante contribuyente de los minerales hierro y calcio.

En el caso del maíz, su bajo contenido de calcio aumenta considerablemente, al sustituirlo en un 30^o/o por soja.

Por otro lado, el aporte de esta última a las mezclas, no modifica en forma significativa el contenido inicial de ácido fítico del trigo y del maíz, mientras que la incorporación de soja a mezclas vegetales, sí reduce considerablemente la disponibilidad *in vitro* del hierro.

La adición de mezclas minerales a las harinas de trigo, maíz y soja, así como a sus mezclas, interfiere levemente con la disponibilidad del hierro, disminuyendo el contenido del mismo.

En cambio, el proceso tecnológico de extrusión no denota influencia

en las mezclas de maíz:soja en lo que al contenido de hierro soluble se refiere.

SUMMARY

EFFECT OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND FORTIFICATION ON THE MINERAL AND *in vitro* IRON AVAILABILITY IN VEGETABLE MIXTURES

Iron, calcium, zinc and fitic acid contents in vegetable blends from wheat, corn and soy were determined. Wheat and corn substitution with soy in compound products, gave an important amount of iron and calcium to the blends, while the initial content of fitic acid in wheat and corn was not significantly modified.

Dehulling and enzymatic inactivation technological processes denoted a rather low influence on soy mineral content. In a similar way, the extrusion-cooking process did not affect appreciably the soluble iron content in blends.

Soy incorporation greatly decreased *in vitro* iron availability in vegetable blends, while fortification with mineral blends slightly interfered, decreasing iron availability with regard to iron-fortified vegetable blends.

BIBLIOGRAFIA

1. Morón, C. Evaluación del Estado de Nutrición de los Escolares de la Zona Pilcomayo, Rivadavia, Salta. Informe Proyecto Especial Multinacional O.E.A./018, Salta.
2. Morón, C., C. Gerscovich, S. D'Andrea, J. Nehben & A. Fernández. Deficiencia de hierro y folatos en embarazadas de la Ciudad de Salta. Presentado en: VI Congreso Latinoamericano de Nutrición, Buenos Aires, 1982.
3. Mork, T.A. & J. Cook. Factors affecting the bioavailability of dietary iron. *Cereal Foods World*, **26**(12):667-671, 1981.
4. Ritchez, S.J. Interrelationships among protein, zinc and copper in human nutrition. *Cereal Chem.*, **58**(1):18-21, 1981.
5. Solomons, N.W. Interacciones entre zinc y factores dietéticos. *Arch. Latinoamer. Nutr.*, **32**:26-31, 1982.
6. Layrisse, M. & C. Martínez-Torres. Iron absorption from food. Iron supplementation of foods. In: *Progress in Hematology*. E. B. Brown and C. V. Moore (Eds.), Vol. VI. New York, N. Y., 1981, p. 137.
7. Wallis, V. & W.G. Jaffé. Hierro soluble y hierro aprovechable en alimentos vegetales. *Arch. Latinoamer. Nutr.*, **27**:195-204, 1977.
8. Layrisse, M., J.D. Cook & C. Martínez-Torres. Food iron absorption. A comparison of vegetable and animal foods. *Blood*, **33**:430-443, 1969.
9. Evans, W.J., T.J. Jacks & E.J. McCourtney. The Interaction of zinc with phytic acid. *J. Food Sci.*, **48**:1208-1210, 1983.
10. Hallber, L., & L. Rossander. Effect of soy protein on non-heme iron absorption in man. *Am. J. Clin. Nutr.*, **36**:514, 1982.
11. Morck, T.A., S.R. Lynch & J.D. Cook. Factors affecting the bioavailability of dietary iron. *Cereal Foods World*, **26**(12):667-671, 1981.
12. Clydesdale, F.M. & A.L. Camire. Effect of pH and heat on the binding of iron, calcium, magnesium and zinc and the loss of phytic acid in soy flour. *J. Food Sci.*, **48**:1272-1274, 1983.

13. Rizk, S.W. & F.M. Clydesdale. Effect of organic acids in the *in vitro* solubilization of iron from a soy-extended meat patty. **J. Food Sci.**, **50**:577-581, 1985.
14. Platt, S.R. & F.M. Clydesdale. Binding of iron by lignin in the presence of various concentrations of calcium, magnesium and zinc. **J. Food Sci.**, **50**:1322-1326, 1985.
15. Narasing, Rao, B.S. & T. Praghavthi. An *in vitro* method for predicting bioavailability of iron from foods. **Am. J. Clin. Nutr.**, **28**:1, 289, 1979.
16. Association of Official Agricultural Chemists. **Official Methods of Analysis of the AOAC**. 12th ed. Washington, D.C. The Association, 1975.
17. Wheller, E.L. & R.E. Ferrel. A method for phytic acid determination in wheat and wheat fractions. **Am. Ass. Cereal Chem.**, **48**:312-321, 1971.
18. Boland, A.R., G.B. Garner & B.L. O'Dell. Identification and properties of "phytate" in cereal grains and oilseed products. **J. Agr. Food Chem.**, **23**(6):1186-1189, 1975.
19. Jacobs, A. & D.A. Greenman. Availability of food iron. **Brit. Med. J.**, **1**:673-676, 1969.
20. Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá. **Métodos de Laboratorio: Análisis de Alimentos**. Guatemala, Talleres Gráficos del INCAP, 1964, p. 29.