

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**INSTITUTO DE TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

***Evaluación de las Propiedades Físicas y  
Disponibilidad de Minerales de  
Expandidos Fortificados, Elaborados en  
Base a Maíz y Soja.***

---

**MAGISTER EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

**Autora:** Lic. María Silvina LASSA

**Director:** Ing. Rolando González

**Codirectora:** Dra. Silvina R. Drago

**Jurado:** Dra. Ma. Eugenia D´Alessandro

Dra. Patricia Ronayne

Dra. María Luz Zapata

A LA MEMORIA DE

MI NONITA

LIDIA D. HÜELLS

A MIS QUERIDOS

DOMINGO PABLO MAI

DOMINGO LUIS LASSA

MIS NONOS

A LA MEMORIA DEL "TURCO" Y ENRIQUE CASTELAO

(ITA)

## **AGRADECIMIENTOS**

A Mimi, mi mami, Gisela, Natalia y Fernando, mis queridos hermanos, quienes me han acompañado y apoyado mis decisiones aunque a veces no las entendieran.

A Tomás, Valentina y Camila, mis tres adorables y atesorados sobrinos.

A Marité, Mauro y Matías, mis queridos cuñados que me ayudaron en la impresión de esta tesis

A mi Director Rolando González, y a mi Co-diretora Silvina Drago, por acompañarme profesional y humanamente en cada paso dado, permitiéndome intercambiar opiniones, nuevas ideas y sugerencias con absoluta libertad.

A Mario De Greef y Roberto Torres, quienes generosamente compartieron todos sus conocimientos y experiencia en extrusión, colaborando muy profesionalmente en cada “corrida”...y todo “aderezado” con un excelente humor.

A Adriana Bonaldo, Oscar Andrich y Marcelino “Quique” Freyre, personas de un valor inestimable, y a quienes tengo el enorme placer de llamar “amigos”.

Especialmente a Adrian Perez Rubin, Lorena Stricker y “Majito” Rivarola, mis queridísimos amigos que me han acompañado durante el desarrollo de la tesis, y gracias a Dios, a pesar de las distancias, aún lo hacen.

A Manuel “Gallego” Fernandez, Clive Marcelo y Alberto, no sólo por los ricos mates compartidos, sino por estar presentes auxiliándome y enseñándome desde el taller.

A la “Asociación de Socorros Mutuos” de la maestria: Silvana Sabbaini, Graciela Ferzandez, Silvina Reyes, Carolina Cerra, Veronica Lancelle y Laura Modini.

A Anita y Elba por su compañía, cariño, buena onda, pero por sobre todo, por su “calidad humana”.

A Nora Sabbag, la “Flaca” Costa, Sergio, Miguel, Liliana, Hugo, Carlitos, Mariza, Raúl Garrote, Enrique Silva, Rubén Roa, Mariel, Andrea Piaggentini, Miguel

Güemes, Mirta, Marta, Oscar, Esteban, Claudia, Victor, Susana, Marilé, Maruca Tessi, Sarita y Marita por todos los momentos compartidos, por todo lo que representan para mi, no sólo a nivel humano, sino también a nivel profesional.

A todo el personal del ITA, quiero expresarles no sólo mi agradecimiento, sino también mi admiración por el esfuerzo que ponen cada día para cooperar aportando soluciones con sus investigaciones, a una problemática tan importante y actual como lo es la Alimentación, no sólo para la Argentina, sino a nivel mundial.

A mis compañeros de la biblioteca, Oscar Paul, Patri, Grace y Liliana Coronel, por tantos años compartidos, y especialmente a Liliana Peleato, Oscar Giauque, Noemí Scotta por su amistad.

A las Gaby Diaz y Ma. Elba, a Gladys y Raúl y, en ellos, a todos los mis queridos compañeros y amigos de Personal y de Intendencia, respectivamente. A mis compañeros de Informática, de Administración y de los talleres de la FIQ.

A mis profesores de la EIS, de la FIQ y del ITA, por la formación recibida.

A mis nuevos compañeros del CCT-Mendoza: A Teo por su apoyo incondicional y su empuje en todo lo que emprendo, a Esteban y Ricardo, quienes generosamente me han acompañado en cada trabajo y colaboran en todo lo que estuvo a su alcance para que pueda terminar con mi tesis. A Gustavo, un amigo “fuera de serie” quien me ha ayudado a crecer mucho en estos tiempos.

ÍNDICE

RESUMEN/SUMMARY

1-INTRODUCCIÓN	PÁG. 1
1.1- ASPECTOS NUTRICIONALES Y SOCIALES	PÁG. 2
1.2- ALIMENTOS DE INTERÉS SOCIAL	PÁG. 3
1.3- CEREALES COMO FUENTE DE ENERGÍA	PÁG. 4
1.4- TECNOLOGÍAS APROPIADAS PARA LA ELABORACIÓN DE ALIMENTOS DE INTERÉS SOCIAL	PÁG. 5
1.5- PROCESO DE EXTRUSIÓN	PÁG. 6
1.5.1- DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS	PÁG. 6
1.5.2- TRANSFORMACIONES DEL MATERIAL DURANTE LA EXTRUSIÓN	PÁG. 9
1.5.2.1- EFECTO DE LA EXTRUSIÓN SOBRE EL ALMIDÓN	PÁG. 10
1.6- OPTIMIZACIÓN DE LA EFICACIA NUTRICIONAL.	PÁG. 14
1.6.1- FORTIFICACIÓN	PÁG. 14
1.6.2- BIODISPONIBILIDAD	PÁG. 16
1.6.3- IMPORTANCIA DE LOS MINERALES EN LA DIETA.	PÁG. 18
1.6.3.1- HIERRO	PÁG. 18
1.6.3.2- CALCIO	PÁG. 21
1.6.3.3- ZINC	pág. 23
2- OBJETIVOS	PÁG.26
2.1- OBJETIVOS GENERALES	PÁG.27
2.2- OBJETIVOS ESPECÍFICOS	PÁG.27
3-MATERIALES Y MÉTODOS	PÁG.28
3.1-MATERIAS PRIMAS	PÁG.29
3.1.1- MAIZ	PÁG.29
3.1.2- SOJA	PÁG.29
3.1.3- FORTIFICANTES	PÁG.29
3.1.4- PROMOTORES	PÁG.29
3.2 EXTRUSIÓN	PÁG.29
3.2.1- CARACTERÍSTICAS DEL EXTRUSOR EMPLEADO	PÁG.29
3.2.2- OBTENCIÓN DE LA MUESTRAS EXTRUDIDAS	PÁG 30
3.3- EVALUACIONES REALIZADAS A LOS EXTRUDIDOS	PÁG.31
3.3.1- CARACTERÍSTICAS RELACIONADAS CON EL PROCESO DE EXTRUSIÓN	PÁG.31
3.3.1.1- CAUDAL MÁSSICO	PAG.31
3.3.1.2-MOMENTO TORSOR O TORQUE	PÁG.31
3.3.1.3- CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA MECÁNICA	PÁG.32
3.3.2- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL PRODUCTO	PÁG.32
3.3.2.1- EXPANSIÓN	PÁG.32
3.3.2.2- VOLUMEN ESPECÍFICO	PÁG.32
3.3.3- EVALUACIÓN DE LA DUREZA SENSORIAL Y DE LA RESISTENCIA MECÁNICA	PÁG.33
3.3.3.1- DUREZA SENSORIAL	PÁG.33
3.3.3.2- RESISTENCIA MECÁNICA	PÁG.33
3.3.4- SOLUBILIDAD EN AGUA	PÁG.34
3.3.5- EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS NUTRICIONALES DE LOS EXTRUDIDOS	PÁG.34
3.3.5.1- EVALUACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE LOS EXTRUDIDOS	PÁG.34
3.3.5.2- DETERMINACIÓN DE FIBRA DIETARIA TOTAL	PÁG.34
3.3.5.3- DETERMINACIÓN DE LA DIALIZABILIDAD DE MINERALES	PÁG.34

3.3.5.4- DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE MINERALES TOTALES	PÁG.35
3.3.6- ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS	PÁG.35
4- RESULTADOS	PAG.36
4.1- EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS	PAG.37
4.1.1- EFECTO SOBRE EL CEEM	PAG.39
4.1.2- EFECTO SOBRE LA EXPANSIÓN Y EL VOLUMEN ESPECÍFICO	PAG.41
4.1.3- EFECTO SOBRE LA SOLUBILIDAD	PAG.45
4.1.4- EFECTO SOBRE LA RESISTENCIA MECÁNICA Y LA DUREZA SENSORIAL	PAG.46
4.1.5- CONCLUSIONES ACERCA DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS	PAG.48
4.2- EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES NUTRICIONALES	PAG.49
4.2.1- EVALUACIÓN DE LA COMPOSICIÓN	PAG.50
4.2.2- EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE MINERALES Y SU DIALIZABILIDAD	PAG.50
4.2.3- EFECTO DEL AGREGADO DE PROMOTORES DE LA ABSORCIÓN EN LA DIALIZABILIDAD DE MINERALES	PAG.52
4.2.4- EFECTO DE LA FUENTE DE HIERRO EN LA DISPONIBILIDAD DE MINERALES DE“SNACKS” DE MAÍZ-SOJA	PAG.54
4.2.5- INFLUENCIA DE DIVERSOS PROMOTORES EN LA DISPONIBILIDAD DE FE, CA Y ZN DE “SNACKS” DE MAÍZ-SOJA FORTIFICADOS CON DISTINTAS FUENTES DE HIERRO	PAG.56
4.2.6- DISPONIBILIDAD DE FE, CA Y ZN DE MUESTRAS MULTIFORTIFICADAS	PAG.59
4.2.7- CONCLUSIONES DE LA EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES NUTRICIONALES	PAG.61
5- CONCLUSIONES FINALES	PAG.63
6- BIBLIOGRAFÍA	PAG.66
7- ANEXOS	PAG.77
ANEXO I: PROPIEDADES FÍSICAS EVALUADAS	PAG.78

# Resumen

---



## RESUMEN

Los alimentos de interés social son aquellos de consumo masivo pero con calidad nutricional mejorada. Existe interés en el ámbito de la salud pública de disponer de alimentos de alta calidad nutricional aptos para la alimentación institucional. Por otra parte, los alimentos en base a cereales han sido revalorizados, ya que no sólo constituyen la fuente principal de almidón en la dieta y aportan una cantidad de otros nutrientes que no es despreciable, sino que además permiten obtener una gran variedad de productos, innovadores y convenientes. Estas últimas características son precisamente las que ocupan un lugar preponderante en el modelo de consumo del público moderno. Las empresas que producen alimentos en base a cereales han demostrado habilidad en aprovechar los cambios en el modelo de consumo y la variedad de productos que hoy se ofrecen es elocuente. Además, la fortificación de alimentos con micronutrientes se ha tornado una práctica casi generalizada, sin embargo en la mayoría de los casos se ignora la biodisponibilidad de los mismos.

La presente tesis tuvo como objetivo general la obtención de un expandido de maíz-soja, tipo “snack” fortificado con minerales y como objetivos particulares analizar los efectos de la adición tanto de los minerales como de distintos promotores de la absorción sobre las propiedades fisicoquímicas de los expandidos y sobre la dializabilidad de los minerales.

Una mezcla preparada con 88% de sémola de maíz comercial y 12% de sémola de soja descascarada, obtenida a partir de porotos con lipoxigenasa inactivada, fue utilizada para todos los ensayos. Con dicha mezcla tomada como base, se prepararon 21 mezclas distintas, las cuales contenían, el o los minerales adicionados-(sulfato ferroso, bisglicinato férrico, NaFeEDTA, sulfato de zinc y carbonato de calcio), con y sin la adición de promotores de la absorción seleccionados: (EDTA, citrato de sodio o ácido ascórbico, AA).

Cada una de las mezclas fue extrudida utilizando un extrusor Brabender 20 DN, con tornillo de relación de compresión 4:1, velocidad de rotación 150 rpm, boquilla de 3 mm, temperatura de extrusión de 180°C y con una humedad de la sémola de 14%. Estas condiciones, consideradas aptas para un expandido tipo “snack”, fueron definidas en ensayos previos. Se realizaron 2 repeticiones por cada muestra.

En cada muestra extrudida, se evaluaron las propiedades fisicoquímicas, tales como el consumo específico de energía mecánica (CEEM),

la expansión, el volumen específico (Vol esp), la solubilidad en agua, la resistencia mecánica, la dureza sensorial y la dializabilidad de los minerales.

Los resultados obtenidos mostraron que la composición de la mezcla afectó significativamente tanto al caudal másico (Q) como el torque ( $\tau$ ) ejercido sobre el eje del extrusor y por lo tanto al CEEM ( $CEEM = 0,0613 \times \tau \times rpm / Q$ ). Del conjunto se destacaron las muestras elaboradas con citrato y las que contenían Ca. Estas últimas se caracterizaron por presentar los menores valores de CEEM (ya que son las de mayor Q), mientras que las que contenían citrato, presentaron valores intermedios de CEEM. Además, las muestras con Ca presentaron bajos valores de expansión y de Vol esp, lo cual es compatible con los menores valores de CEEM. No obstante, también se caracterizaron por sus altos valores de solubilidad (S). Esta aparente discrepancia (ya que bajos valores de Vol esp y de CEEM se corresponderían con bajos valores de S), se explicaría considerando que además de los solubles generados por la acción termomecánica, se agregan aquellos generados por la acción química (medio alcalino).

Tal como ocurre en la extrusión de sémola de maíz, se observó la relación directa entre expansión y volumen específico, como también entre estas dos y el CEEM, destacándose dos grupos de muestras diferenciadas: las que poseen Ca y/o citrato y el resto.

También se observó una muy buena correlación entre la resistencia mecánica evaluada con la máquina Instron y la dureza sensorial de los expandidos, lo cual confirma que la metodología adoptada fue adecuada para discriminar las diferencias entre las muestras. Además, la relación inversa observada entre la resistencia mecánica y el CEEM es coherente con lo esperable, ya que a mayor grado de cocción la muestra es más expandida, posee mayor volumen específico y por lo tanto es menos dura.

La disponibilidad de los minerales se estimó utilizando la técnica de dializabilidad que mide el porcentaje del mineral dializado luego de una digestión gastrointestinal que simula los procesos fisiológicos. El contenido de Fe, Zn y Ca se midió por espectroscopia de absorción atómica. La disponibilidad del mineral se calculó como la cantidad de dicho mineral dializado expresada como porcentaje del contenido total del mismo en la muestra.

El agregado de sémola de soja a la sémola de maíz no sólo permitió mejorar significativamente el valor proteico sin deteriorar los atributos

sensoriales del expandido, sino que además mejoró el aporte de hierro, zinc y calcio de este tipo de productos.

El empleo de promotores, tales como el citrato o el EDTA puede resultar una estrategia adecuada para incrementar el aporte de minerales intrínsecos (Fe, Zn y/o Ca) de estos productos sin fortificar.

De las tres fuentes de fortificación evaluadas, el NaFeEDTA presentó la mayor disponibilidad de hierro frente al sulfato ferroso (SF) y al bisglicinato ferroso (BF). Su empleo no afectó la disponibilidad de Zn y Ca endógenos. Sin embargo, la muestra fortificada con SF presentó mejor disponibilidad de Zn. Este hecho conjuntamente con el elevado costo del NaFeEDTA, hacen que el SF sea una fuente más apropiada para este tipo de productos.

Si bien la disponibilidad del Fe de la fuente de fortificación fue inferior a la del respectivo mineral endógeno (salvo cuando se empleó NaFeEDTA), el aporte final de Fe del producto resultó mayor.

El EDTA resultó el mejor promotor en productos fortificados con SF y BF. El efecto de AA y del citrato dependió de la fuente de Fe utilizada.

Estos resultados ponen de manifiesto que dependiendo de la fuente de hierro que se utilice en la fortificación se deberán seleccionar los promotores adecuados, o incluso no utilizar ninguno.

Se demostraron interacciones entre las fuentes de minerales. El empleo de Ca como fortificante alteró la disponibilidad del Fe y del Zn. El efecto negativo fue mayor en presencia de Zn y Ca.

El uso de EDTA como promotor mejoró la disponibilidad de minerales en los productos multifortificados.

Al formular un producto multifortificado es muy importante evaluar las interacciones de los diferentes minerales entre sí y seleccionar la combinación de fuentes y promotores más adecuada para la matriz y el proceso, implicados en la elaboración del producto.

Estos resultados permitieron concluir que la metodología seleccionada para evaluar las características del producto expandido y fortificado fue adecuada; que pudieron ser identificados los efectos de algunos aditivos sobre las propiedades, siendo los correspondientes al Ca y al citrato los más destacables.

## Summary

Food of social interest is those normally consumed by the population but with nutritional quality improved. It is of interest for the public health sector to have high nutritional foods available, to be used in institutional feeding. On the other hand, cereal foods have gained value, not only because they are the most important starch source in the diet and their content of other nutrients is not negligible, but also because a wide variety of products, novel and convenient, can be obtained. These last characteristics are ones of the most important for modern consumers. Enterprises involved with cereal foods have demonstrated their speed in exploiting these changes in food consumption model, the high variety of products that exist nowadays is eloquent. Besides that, micronutrient fortification is becoming an almost generalized practice; however in most cases nutrient bioavailability is ignored.

The general objective of this Thesis was to obtain a maize-soybean expanded product, like a snack, fortified with minerals and the particular objectives were to analyze the effects of addition of minerals and several absorption promoters on extrudate physicochemical properties and on mineral dialyzability.

A mixture prepared with 88% of commercial maize grits and 12% of dehulled soybean grits made from lipoxigenase inactivated beans, were used in all experiments. With such base mixture, 21 different mixtures, containing different mineral sources (ferrous sulphate, ferric bisglycinate, NaFeEDTA, zinc sulphate and calcium carbonate), with and without different selected absorption promoters: EDTA, sodium citrate or ascorbic acid (AA).

Each mixture was extruded using a 20 DN Brabender extruder, with a 4:1 screw compression ratio, 3 mm die, screw speed, 150 rpm, extrusion temperature, 180 °C and grits moisture content, 14 %. These extrusion conditions, considered adequate for a snack type expanded product, were defined in previous assays. Duplicate runs for every experiment were carried out. On each extruded sample, physicochemical properties, such as specific mechanical energy consumption (CEEM), expansion, specific volume (Vol esp), water solubility, mechanical resistance, hardness (sensory test) and mineral dialyzability were determined.

Results shown that mixture composition affects significantly mass output (Q), torque (T) and consequently to CEEM ( $CEEM=0.0613 \times TxRPM/Q$ ). Of the whole sample, two groups are distinguished that of samples containing citrate and that of samples containing Ca. These last samples are characterized because they presented the lowest CEEM values (since they have the highest Q), while those sample containing citrate presented intermediate values of CEEM.

Besides that, samples with Ca, presented low values of expansion and Vol esp, which is in agreement with their lower CEEM values. However, these samples also are characterized by high solubility (S) values. This apparent discrepancy (since low Vol esp and CEEM values would correspond with low S values), could be explained, considering that besides the soluble solids produced by thermo mechanical effects, those produced by chemical effects (alkalinity) are added.

Like in extrusion of maize grits, a direct relationship was observed between expansion and Vol esp, and also among these last two and CEEM, being the Ca and citrate group well noticeable.

It was also observed a very good correlation between mechanical resistance determined with Instron machine and sensory determination of hardness of the extrudates, which confirm that the methodology adopted was adequate to discriminate sample differences. Moreover, the inverse relation between mechanical resistance and CEEM, is as expected, since as degree of cooking increases, extrudate is more expanded, has higher Vol esp and consequently softer.

The bioavailability of these minerals was determinate using the test of dialyzability which measure dialyzable mineral after a gastrointestinal digestion which pretending physiological process. The total content of Fe, Zn y Ca, was determinate by atomic absorption spectroscopy. The availability of each mineral was calculated as the expressed amount of dialyzed mineral as percentage of the total mineral content in the sample.

The aggregate to grits soybean to the grits maize, not only allowed to improve significantly the protein value without impaired the sensorial

---

attributes of the expanded ones, but also it improved the contribution of Iron, Zinc and Calcium from this type of products.

The use of enhancers, such as the citrate or EDTA can turn out a suitable strategy to increase the intrinsic mineral contribution (Fe, Zn and/or Ca) of these products without fortifying

Of the three evaluated sources of fortification, the NaFeEDTA displayed the greater availability, respect to ferrous sulphate (SF) and to ferrous bisglycinate (BG). Its use did not affect the availability of endogenous Zn and Ca. Nevertheless, the sample fortified with SF displayed better availability of Zn. This fact, jointly with the high cost of the NaFeEDTA causes that SF is more appropriate for this type of products.

Although the iron availability of the fortification sources is lower than that of endogenous mineral (except NaFeEDTA), the final iron contribution of this product was greater.

EDTA result the best enhancer for FS and BG fortified products. The AA and citrate effect depends on iron source used.

These results show the relationship between the iron source and the enhancer and if it is necessary or not it use.

Interactions between the mineral sources were demonstrated. The use of Ca fortification impaired the availability of the Fe and Zn. The negative effect was greater in presence of Zn and Ca simultaneously.

The use of EDTA as enhancer, improved the mineral availability in multifortified products.

When a multifortified product is formulated is very important to evaluate the interactions among different minerals and to select the combination of sources and enhancers more appropriate for the elaboration of the product

These results allow concluding that methodology selected to evaluate fortified extrudate characteristics was adequate. The effects of some additives on product properties could be well discriminated, being those corresponding to Ca and citrate the most noticeable.

A very good correlation was also observed between mechanical resistance determined with Instron machine and sensory determination of hardness of the extrudates, which confirm that the methodology adopted was adequate to discriminate sample differences. Moreover, the inverse relation between mechanical resistance and CEEM, is as expected, since as degree of cooking increases, extrudate is more expanded, has higher Vol esp and consequently softer.

The bioavailability of these minerals was determined using the test of dialyzability which measure dialyzable mineral after a gastrointestinal digestion which pretending physiological process. The total content of Fe, Zn and Ca, was determined by atomic absorption spectroscopy. The dialyzability of each mineral was calculated as a percentage of the amount of dialyzed mineral in the total mineral content in the sample.

The aggregate to grits soybean to the grits maize, not only permitted significant improvement in the protein value without impairing the sensorial attributes of the expanded ones, and also improved the contribution of Iron, Zinc and Calcium in this type of products.

The use of enhancer, such as the citrate or EDTA can turn out to be a suitable strategy to increase the intrinsic contribution of Fe, Zn and Ca of these products without fortifying

Of the three evaluated sources of fortification, the NaFeEDTA, displayed the greater availability, relative to ferrous sulphate (SF) and ferrous bisglycinate. Its use did not affect the availability of endogenous Zn and Ca. Nevertheless, the sample fortified with SF displayed better availability of Zn. This fact, jointly with the high cost of the NaFeEDTA indicate that SF is more appropriate for this type of products.

On the other hand, AA was not a good enhancer for this type of food matrices and process.

These results show the relationship between the iron source and the enhancer and if it is necessary or not it use.

Although the availability of the fortification sources is lower than that of endogenous mineral, the final contribution of this product is greater.

Interactions between the mineral sources were demonstrated. The use of Ca fortification impaired the availability the Fe and Zn. The negative effect was greater in Zn and Ca.

The use of EDTA as enhancer, improved the mineral availability in multifortified products.

When a multifortified product is being formulated, it is very important to evaluate the interactions among different minerals and to select the combination of sources and enhancers more appropriately for the elaboration of the product

From these results, it can be concluded that the methodology that was used to evaluate the fortified extrudate characteristics was adequate. The effects of some additives on the properties of the product was well discriminated, being those corresponding to Ca and citrate the most noticeable.



# 1-INTRODUCCIÓN

---

## 1-INTRODUCCIÓN

### 1.1- ASPECTOS NUTRICIONALES Y SOCIALES

Según la Organización Panamericana de la Salud y Organización Mundial de la Salud (OPS/OMS) la anemia por deficiencia de hierro, o anemia ferropénica, es uno de los problemas nutricionales de mayor magnitud en el mundo. Esta situación no es nueva para muchos países latinoamericanos, en los que los efectos de la pobreza crónica se vienen analizando desde hace décadas (ALAN 1994, Gómez 1985, Ariza 1992) y la Argentina no es ajena a ello. Un estudio realizado en nuestro país permite afirmar que aproximadamente uno de cada dos niños menores de 2 años y una de cada tres embarazadas tiene anemia (Ceriani Cernadas y col. 2001, Donato 2001). Los datos de la “Encuesta Nacional de Nutrición y Salud” que se han dado a conocer recientemente, mostraron que el 16,5 % de los niños entre 2 y 5 años, el 34,1% de los niños entre 6 y 23 meses y el 18,1% de mujeres entre 10 y 49 años, padece de anemia; mientras que en las embarazadas el valor alcanzar el 30,5%.

La malnutrición calórico-proteica, la anemia ferropénica y el déficit de ingesta de calcio, son unos de los problemas nutricionales más importantes de nuestros tiempos, principalmente en los niños entre los 6 y los 24 meses de edad y las mujeres en edad fértil (ALAN 1994, O'Donnell y Britos 2002).

Ya en los años 60', la FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) estableció algunas de las recomendaciones para aliviar la malnutrición calórico-proteica en distintas partes del mundo. Entre ellas figura el aumento de la producción y consumo tanto de leguminosas y oleaginosas, como así también de alimentos formulados a base de derivados proteicos provenientes de las mismas. Las ventajas nutricionales de adicionar proteínas de leguminosas a los cereales son bien conocidas (AID-USA 2000, Messina 1999, Gómez 1985).

Otro aspecto nutricional que surge, es la deficiencia de los minerales, que pueden atribuirse a varias causas: a) una disminución en la ingesta, b) un aumento en las necesidades del organismo y c) una baja biodisponibilidad.

Resulta difícil evaluar, el costo monetario que provoca la desnutrición. El Banco Mundial pudo estimar que las pérdidas causadas por la desnutrición de micronutrientes, donde la deficiencia de Fe y Zn poseen la mayor prevalencia,

representan (en incapacidades y muertes) un costo del 5% del Producto Bruto Interno (PBI) en aquellos países que se encuentran significativamente afectados por estas deficiencias nutricionales. Sin embargo, la solución a este problema, mediante la implementación de estrategias adecuadas como la fortificación de alimentos, tiene un costo económico inferior al 0,3% del PBI, representando una relación costo-beneficio cercana a 20 (The World Bank 1994, Alnwick 1998).

En los últimos 10 años, la situación económica de la Argentina se ha caracterizado por un agravamiento de la situación alimentaria de vastos sectores de la población. La desocupación y la marginación conducen a la pérdida de hábitos alimentarios saludables, llevando a aquellos que padecen este flagelo a una condición caracterizada, no sólo por la desnutrición sino también por la obesidad. La limitación de recursos económicos y la falta de educación alimentaria impiden la satisfacción de los requerimientos nutricionales (energía, proteínas, micronutrientes, etc.) ya que la dieta no sólo es insuficiente, sino que además no es equilibrada. Además, a la falta de educación alimentaria, se le debe agregar la mala información y el resultado final es el agravamiento del estado nutricional.

Hoy más que nunca se comprueba que la desnutrición observada en sectores de la población argentina es consecuencia de la pésima distribución de la riqueza y no de una insuficiente provisión de alimentos. Esta situación es parte de la gran deuda de la clase política y obviamente requiere soluciones políticas. No obstante, resulta también evidente que es imperativa la instrumentación de planes de intervención del Estado, relativos a la asistencia alimentaria de los grupos más vulnerables.

### ***1.2- ALIMENTOS DE INTERÉS SOCIAL***

Si bien, el agravamiento de la situación nutricional provoca la intensificación de los programas alimentarios basados en la distribución de alimentos básicos y en la atención de comedores institucionales, la utilización de Alimentos de Interés Social en esos programas es escasa (González 2003). Al respecto se puede mencionar el Programa “Plan Vida” de la provincia de Buenos Aires, el cual exigía la fortificación con minerales y vitaminas, aunque en ningún caso se tuvo en cuenta la biodisponibilidad de tales nutrientes.

Los *Alimentos de Interés Social* son aquellos de consumo masivo, de alta aceptabilidad, pero con valor nutricional mejorado y de bajo costo, que aseguren un adecuado aporte de nutrientes, a fin de contribuir a un buen estado nutricional. Para su elaboración, resulta indispensable la utilización de tecnologías apropiadas y la optimización de la eficacia nutricional mediante la fortificación con minerales, vitaminas y la utilización de proteínas de buena calidad (Sánchez y col. 1999).

### **1.3- CEREALES COMO FUENTE DE ENERGÍA**

El problema que los cereales presentan como fuentes proteicas, es que son deficientes en aminoácidos esenciales como la lisina y el triptofano (Oropeza y Ortiz 1989, AID-USA 2000, Messina 1999, Gómez 1985). Para mejorar este perfil (principalmente en lisina) se han desarrollado nuevos alimentos en base a las mezclas de cereales y legumbres, ya que las leguminosas (soja, porotos, alubias, arvejas, etc.), pueden satisfacer los requerimientos de complementación aminoacídica (Cheftel y col. 1989), y además aportar minerales como P, Ca, K, Na, Mg, Fe y Cu. En este sentido, el concepto de complementación aminoacídica utilizando fuentes proteicas diversas, ha sido ampliamente difundido y así, fueron propuestas numerosas formulaciones en base a mezclas de cereales y/o tubérculos con oleaginosas y/o legumbres (Gómez 1985, Young 1991).

La utilización de mezclas de cereales y legumbres (incluida la soja) ha tenido una amplia difusión desde los años 70. Así se desarrollaron numerosas combinaciones con materias primas locales tanto en África como en Asia y América Latina. Uno de los ejemplos más conocidos fue la INCAPARINA, una mezcla que se ha desarrollado en el INCAP (Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá). En la Argentina, algunas experiencias fueron desarrolladas en Salta, en el Instituto de Investigaciones para la Industria Química (INIQUI) utilizando la extrusión para la precocción de mezclas maíz-soja. Sin embargo, en este caso el extrusor utilizado no era el adecuado para producir las transformaciones estructurales necesarias para lograr productos expandidos con características aceptables. Otro ejemplo que se puede destacar en la Argentina, es el desarrollo de mezclas para preparar guisos, polenta, sopas cremas, etc. realizado por la Cooperativa de Trabajo "La Asunción" (Rosario), con la colaboración de los integrantes del Área de Cereales y Oleaginosos del Instituto de Tecnología de Alimentos (ITA) a través de un convenio realizado para tal fin

(1992-2003). En todos estos casos, el énfasis ha sido puesto en el balance de aminoácidos, en el contenido de proteínas y en algunos casos, en la densidad energética, no así en la fortificación y biodisponibilidad de minerales.

Otro aspecto relevante es la gran transformación del Sistema Agroalimentario que se ha verificado en los últimos años (particularmente a partir de los 90<sup>0</sup>). Se ha pasado de un modelo de consumo tradicional a otro caracterizado por nuevas utilidades que el consumidor moderno considera necesarias, tales como la conveniencia, novedad y variedad (textura, características nutricionales, tamaño y tipo de envase, etc.) (González y col. 2002). En este contexto, se ha verificado un aumento en el consumo de alimentos a base de cereales, el cual está relacionado con la revalorización de los mismos como alimento y con esos cambios en el comportamiento del consumidor. En este sentido, como veremos luego, la extrusión brinda la oportunidad de elaborar alimentos con una amplia variedad de características físicas, permitiendo además mejorar la calidad nutricional de los alimentos en base a cereales.

Además, dada la importancia de la biodisponibilidad de los minerales y la escasa información existente acerca del efecto de algunos factores que la afectan, como por ejemplo: la matriz del alimento, la presencia de inhibidores y/o promotores, conjuntamente con las condiciones del proceso, la propuesta de la presente tesis tiene como objetivo generar información útil, no sólo para la formulación de alimentos en general, sino también para realizar recomendaciones a fin de establecer niveles de fortificación adecuados.

#### ***1.4- TECNOLOGÍAS APROPIADAS PARA LA ELABORACIÓN DE ALIMENTOS DE INTERÉS SOCIAL***

Los procesos utilizados para obtener la mayoría de los alimentos en base a cereales son: horneado, laminación (“flakes”), explosión (“puffing”) y cocción por extrusión (Gómez y col. 1991, Battermen-Azcona y Hamaker 1998, Fast 1991, Fernandes dos Santos y col 2002a). De todos ellos, la extrusión es considerada una de las tecnologías más apropiadas para la transformación de cereales, legumbres y oleaginosas ya que precocina el material amiláceo, inactiva enzimas, homogeniza la mezcla y genera texturas diferentes y además lo hace a través de

---

un proceso de alta temperatura-corto tiempo (HTST), lo cual asegura un mínimo de pérdidas de nutrientes.

Las ventajas que ofrece la extrusión como método de cocción de productos a base de cereales y los cambios producidos en los materiales amiláceos durante el proceso, han sido discutidos por distintos autores (Anderson y col. 1969, Biliaderis 1991, Colonna y col.1987, González y col.1986, 1987 y 2002, Harper 1981, Kokini y col. 1992 a y b, Mason y Hosene y 1986, Mercier y Feillet 1975, Rhee y col. 2004). En este proceso, la combinación de calor y esfuerzos mecánicos sobre las partículas de harinas y/o sémolas producen cambios en la fracción amilácea, favoreciendo la modificación estructural del almidón (gelatinización y/o fusión de la estructura cristalina), la desnaturalización de proteínas, la inactivación de enzimas que afectan negativamente la vida útil de los productos, la destrucción de compuestos anti-nutricionales que son térmicamente lábiles (Rackis y col. 1986, Ummadi y col. 1995), la eliminación de carga microbiana en el producto resultante, la texturización de proteínas vegetales (Harper 1989) y la formación de complejos entre almidón y lípidos y entre proteínas y lípidos (Torres 2005). Estos cambios afectan a la apariencia, aroma, sabor y textura de los productos extrudidos (Ramírez y Wanderlei 1998, Fernández dos Santos 2002b, González y col. 2000 y 2003).

El proceso de extrusión ha evolucionado hasta alcanzar, en la actualidad, una tecnología altamente sofisticada y se destaca por ser un proceso de alta temperatura y corto tiempo (HTST) que evita daños innecesarios en algunos aminoácidos tales como la lisina y es eficiente para desarrollar diferentes características texturales (Ramírez y Wanderlei 1998, Fernández dos Santos 2002b, González y col. 2002 y 2003, Ficarella y col. 2006). El proceso de extrusión ha sido aplicado para elaborar harinas de maíz precocidas con diferente grado de cocción (González y col. 1990, 1991 y 2002; Ficarella 2006).

Por todo lo mencionado anteriormente, la extrusión es una alternativa para elaborar alimentos precocidos, e incluso para elaborar alimentos de interés social, de manera tal que se puede lograr no sólo la inactivación de los factores anti-nutricionales y el mejoramiento nutricional, sino también una diversidad de texturas.

## **1.5- PROCESO DE EXTRUSIÓN**

### **1.5.1- DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS**

La extrusión puede definirse como un proceso que involucra el transporte de un material, bajo ciertas condiciones controladas, forzándolo a pasar por una boquilla de una dada geometría y con un caudal másico pre-establecido (González y col. 2002).

Puede aseverarse que este proceso es eficiente, no sólo desde el punto de vista de la versatilidad (ya que puede realizar simultáneamente operaciones de mezclado, cocción, texturización y secado parcial), sino también desde el punto de vista de la utilización de la energía, mano de obra y espacio requerido para la instalación (González y col. 2002, Ibanog 2006)

Existe una variedad de diseños de extrusores, pero básicamente pueden clasificarse en dos grandes tipos: monotornillo (“single screw extruder”) como el que se observa en la Fig. 1.1, y doble tornillo (“twin screw extruder”). El extrusor monotornillo domina la industria alimentaria pero la aplicación de extrusores de doble tornillo está creciendo por la gran flexibilidad en el control de los parámetros del producto y proceso. Los extrusores monotornillo presentan inestabilidad debido a que es un proceso manejado por fricción, mientras que los de doble tornillo son más útiles para procesos por pasos (amasado, mezclado, etc.), lo que representa una ventaja a la hora de trabajar, por ejemplo, con almidones modificados para fabricar “snack” de 3<sup>era</sup> generación.

Entre los factores que afectan el proceso de extrusión pueden mencionarse los siguientes:

#### **❖ NIVELES DE HUMEDAD**

El nivel de humedad es determinante para la disipación de energía mecánica dentro del extrusor, particularmente en la zona de flujo viscoso. No obstante la disipación se puede controlar combinando la geometría del cañón, del tornillo y de la boquilla y las rpm del tornillo.

#### **❖ TAMAÑO DE PARTÍCULA DEL MATERIAL DE ALIMENTACIÓN**

Teniendo partículas de harinas con tamaños mayores a los de una malla 14, la transformación del flujo sólido en viscoso, será más lenta y puede disminuir el grado de cocción.

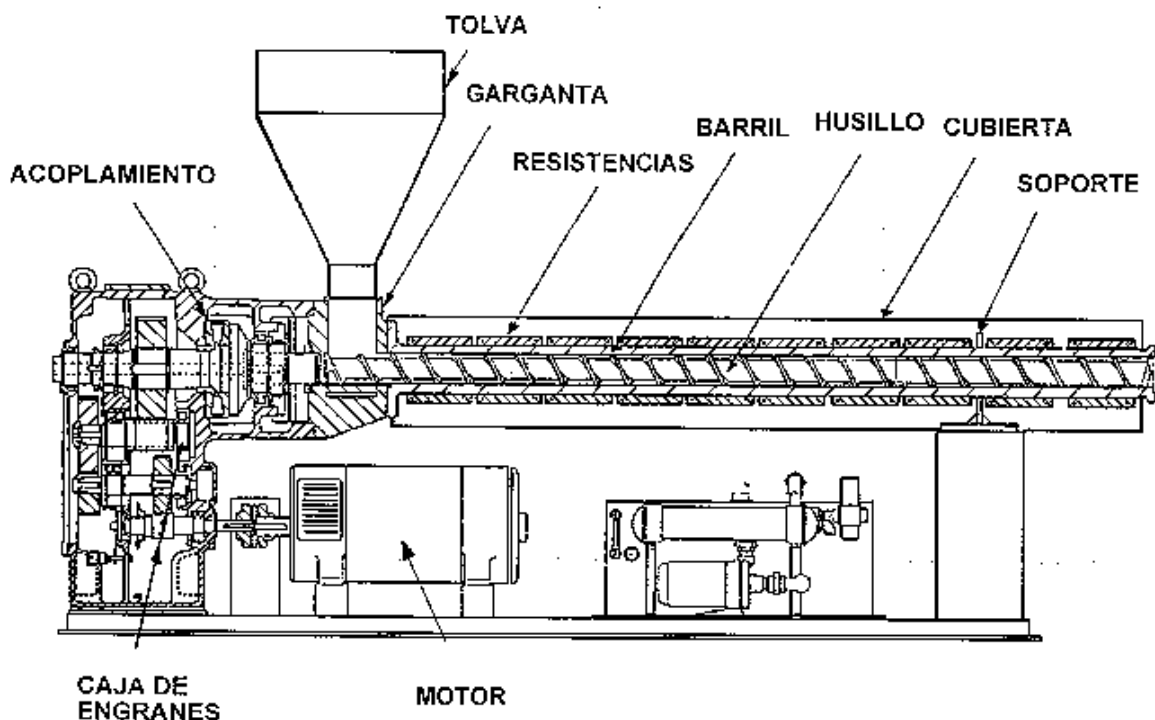
### ❖ OTROS INGREDIENTES

Ingredientes como aceites y emulsificantes pueden ser añadidos al material de alimentación para disminuir su viscosidad. También actuarán como lubricantes durante el proceso de extrusión, provocando una disminución en la cantidad de calor disipado.

Entre las variables operativas y de diseño se pueden mencionar:

### ☒ GEOMETRÍA DEL TORNILLO

En un extrusor monotornillo, los parámetros que pueden ser ajustados incluyen: el espesor del filete del tornillo, el diámetro, el paso y el espacio anular entre tornillo y cilindro. Para un extrusor de doble tornillo, las opciones para geometría del tornillo y el rango de configuraciones son numerosas.



**Figura 1.1.** Corte transversal de un extrusor de alimentos monotornillo

### ☒ VELOCIDAD DEL TORNILLO

En la extrusión con monotornillo, la velocidad del tornillo (rpm) determina el caudal másico, ya que la alimentación se realiza de manera de llenar totalmente los canales del tornillo en la sección de alimentación (“full-capacity”). Un incremento de las rpm, provoca dos efectos contrarios, por un lado, aumenta la intensidad de los esfuerzos de corte, provocando una mayor disipación de



energía mecánica; pero por otro, disminuye el tiempo de residencia, lo que se refleja en un menor grado de cocción.

En este tipo de extrusores, la importancia relativa de estos efectos depende de otros factores tales como la humedad y la restricción al flujo (diámetro de boquilla, relación de compresión del tornillo o RC, etc.). En condiciones de altos grados de cocción (diámetro de boquilla pequeño, alta RC y baja humedad), un aumento de rpm provoca un aumento del grado de cocción, ya que predomina el efecto mecánico; mientras que en condiciones de bajo grado cocción (alta humedad, baja RC y mayor diámetro de boquilla), un aumento de rpm, disminuye el grado de cocción, ya que predomina el tiempo de residencia.

En los extrusores con doble tornillo, el caudal es independiente de las rpm, ya que el tornillo trabaja parcialmente lleno (Harmuth-Hoene y col. 1985).

#### ☒ **TEMPERATURA DEL CILINDRO**

La mayoría de los extrusores operan con temperatura controlada. La diferencia de presiones y los esfuerzos de corte influyen en el grado de fricción y por ende en la disipación de energía mecánica. El calentamiento del cilindro es generado por la disipación de energía mecánica, en aquellos casos en que opera de manera autógena (cuando se requieren altos grados de cocción), o bien desde un medio calefactor, cuando se desea mantener una baja disipación de energía (bajo grado de cocción). La temperatura empleada afecta las propiedades físicas y reológicas del material. Para reducir la temperatura del cilindro puede emplearse una recirculación de agua fría, y para reducir la temperatura en el material puede incrementarse el contenido de agua o aceite, que actúan como lubricantes, o reduciendo el grado de fricción, lo cual puede lograrse disminuyendo la velocidad del tornillo o la severidad de la configuración (Harper 1981).

### **1.5.2- TRANSFORMACIONES DEL MATERIAL DURANTE LA EXTRUSIÓN**

El primer paso antes de la extrusión, es la humectación de las harinas. El objetivo de este paso es comenzar la humectación del almidón para facilitar su posterior gelificación.

Durante el proceso de extrusión, el material es introducido al extrusor, es transportado a lo largo del mismo y en segundos, es convertido en un fluido viscoelástico, que al salir por la boquilla, se transforma en un sólido expandido.

La combinación de esfuerzos de corte, temperatura y presión provoca cambios estructurales, más o menos intensos, según sean las condiciones de extrusión (Wen y col. 1990, Chen y col 1991, Mitchell y Areas, 1992). Es importante destacar que la transformación del flujo sólido en flujo viscoso es necesaria para que se produzcan estos cambios estructurales, particularmente en el almidón.

La expansión que se produce al salir por la boquilla, es consecuencia de la evaporación casi instantánea del agua contenida en el material, la cual se encuentra en estado líquido, a pesar de la alta T, ya que la presión es suficientemente alta ( $> 50 \text{ kg/cm}^2$ ). El cambio de presión a la salida (P atmosférica), exige que el agua (a  $T \gg$  de  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ ) se vaporice (“flashing”), provocando el “arrastre” (expansión) del material viscoelástico. Las propiedades mecánicas del producto expandido, dependerán de la distribución y tamaño de los alvéolos y del espesor de pared de los mismos.

#### **1.5.2.1- EFECTO DE LA EXTRUSIÓN SOBRE EL ALMIDÓN**

##### **☒ CARACTERÍSTICAS GENERALES**

El almidón es el único polisacárido de origen vegetal digerible, se almacena en las raíces, tubérculos y en el endospermo de los cereales. Está formado por moléculas de amilosa (AM) y amilopectina (AP), ambos polímeros de glucosa. Ambas especies moleculares son polidispersas. El rango de pesos moleculares está comprendido entre  $10^5$  a  $10^6$  para AM y de  $10^7$  a  $10^9$  para AP (Vaclavik y Christian 2002, Leeman y col. 2005).

Mientras que las moléculas de AM, son cadenas lineales formadas por unidades de glucosa unidas por enlaces  $\alpha$ -1,4 y constituyen aproximadamente la cuarta parte del almidón (excepto los cereales tipo “waxy”, que prácticamente no contienen AM), las moléculas de AP, son muy ramificadas, están formadas por unidades de glucosa unidas por enlaces  $\alpha$ -1,4 con ramificaciones  $\alpha$ -1,6.

##### **☒ COCCIÓN EN AGUA**

Cuando una dispersión acuosa de almidón es calentada, los gránulos de almidón van absorbiendo agua (hinchamiento) de manera reversible, hasta que se alcanza una cierta temperatura (T de gelatinización). A partir de allí, los gránulos experimentan un proceso de hinchamiento irreversible (proceso de gelatinización), mediante el cual se pierde la estructura cristalina y las moléculas de menor peso molecular van siendo lixiviadas, pasando a la fase acuosa. A

medida que aumenta la T el tamaño de las moléculas extraídas aumenta. En la composición del sólido extraído predomina la amilosa.

Los gránulos de almidón de papa por ejemplo, pueden dispersarse casi totalmente en agua a 95°C. Para el caso del almidón de cereales, la dispersión del gránulo es incompleta y la amilopectina (AP) es extraída al final de la etapa de calentamiento (95°C) quedando siempre restos de gránulos sin dispersar. Para que puedan ser dispersados, requieren temperaturas superiores a los 110 °C.

Al comenzar a enfriar la dispersión de los gránulos gelatinizados, comienza el proceso llamado de *retrogradación*. La retrogradación se manifiesta con el aumento de la viscosidad, el cual es consecuencia de la asociación (por puentes hidrógeno) de moléculas de amilosa dispersas que van formando una red, en la cual quedan “atrapados” los restos de gránulos de almidón. Al llegar a temperatura ambiente y al detener la agitación, las interacciones continúan y la dispersión va adquiriendo consistencia de gel. El gel adquiere rigidez y con el tiempo la estructura, segrega agua (sinéresis).

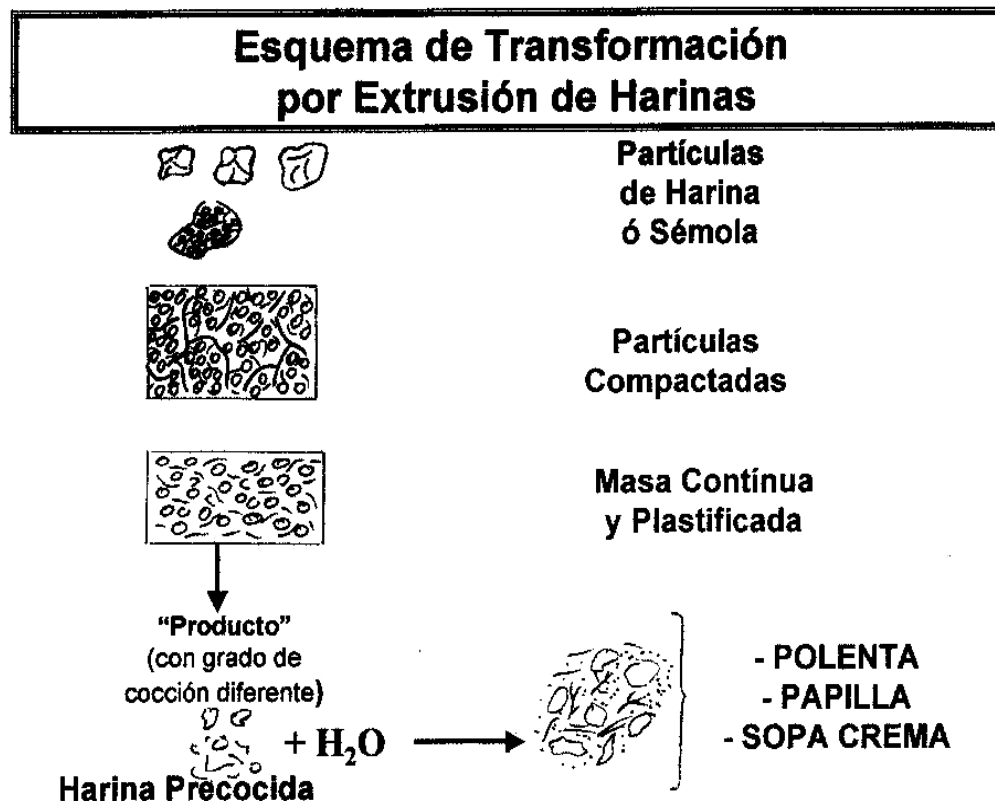
La viscosidad de la dispersión que retrograda es mayor, cuanto mayor es el tamaño de los restos de gránulos, es decir que, cuanto más dispersable sea el almidón (papa, mandioca, cereales “waxy”), menor será la viscosidad alcanzada.

La retrogradación esta directamente relacionada, por ejemplo, con el envejecimiento del pan, las fracciones de amilosa o las secciones lineales de AP que retrogradan, forman zonas con una estructura más rígida, lo cual se traduce en un aumento de la firmeza de la miga.

#### **☒ COCCIÓN POR EXTRUSIÓN**

En este caso, la cocción se realiza con baja concentración de agua (menor de 30%) y por lo tanto no se verifica el proceso de hinchamiento por entrada de agua al gránulo. La pérdida de cristalinidad durante la extrusión-cocción es consecuencia del tratamiento termomecánico, el cual produce no sólo la desorganización estructural del gránulo (fusión) sino también la destrucción parcial o total del mismo. Según sean las condiciones de extrusión, es posible encontrar en el material extrudido, una mezcla de distintos estados del almidón: almidón gelatinizado (hidratable y que mantiene la morfología granular), fragmentos de gránulos y material disperso (Politz y col. 1994, Kokini y col.

1992b, Lai y Kokini 1991). Las diversas transformaciones se muestran esquemáticamente en la Figura 1.2.



**Figura 1.2.** Transformaciones sucesivas durante la extrusión

El grado de pérdida de la estructura cristalina se puede determinar utilizando un microscopio de luz polarizada, con el cual se observa la llamada "cruz de malta". Cuando se trata de cocción en agua, el término: "grado de cocción" se refiere a la proporción de gránulos que han perdido la estructura cristalina, pero cuando se trata de cocción por extrusión, el término involucra también el grado de destrucción de la estructura granular del almidón.

#### ☒ **EVALUACIÓN DEL GRADO DE COCCIÓN**

Existen varios métodos para evaluar el grado de cocción en un producto amiláceo extrudido, algunos se relacionan con la pérdida de la estructura cristalina y otros con el grado de destrucción granular.

En el primer caso se puede mencionar a: 1) la observación microscópica con luz polarizada; 2) la determinación de la entalpía de gelatinización mediante la microscopia electrónica diferencial de barrido (DSC, differential scanning

microscopy); 3) la difracción de RX con la cual se calcula la proporción de estructura cristalina nativa remanente; 4) la susceptibilidad enzimática, aceptando que sólo aquellos gránulos de almidón que han perdido la estructura cristalina pueden ser atacados por la amilasas en tiempos de incubación cortos (30 minutos).

En el segundo caso los métodos se relacionan con la capacidad de hidratación y el grado de hinchamiento del material extrudido. Los más utilizados son: 1) la solubilidad en agua (o dispersabilidad); 2) la absorción de agua; 3) la respuesta amilográfica, utilizando el amilógrafo de Brabender, el cual es el instrumento más conocido para evaluar el comportamiento de los almidones durante la cocción en agua y permite observar los cambios de viscosidad (o consistencia de la dispersión, medida en unidades de torque o gramo fuerza x cm), tanto en la etapa de calentamiento (desde la temperatura ambiente hasta 95°C, a 1,5 °C/min), como en la de mantenimiento a 95°C, y en la de enfriamiento. Se ha verificado para materiales amiláceos extrudidos, que la solubilidad en agua y la respuesta amilográfica son buenos indicadores del grado de cocción (González y col. 2002).

En el proceso de extrusión, el almidón es el componente que juega el papel más importante, ya que los cambios que sufre el almidón afectan la expansión y textura final del producto extrudido (Lai y Kokini, 1991). El estado final (o grado de cocción) alcanzado por el almidón, como consecuencia de las transformaciones estructurales (fusión, fragmentación y dextrinización), es muy dependiente de las condiciones de extrusión y del tipo de material empleado (tamaño y dureza de las partículas de sémola, cereal con el cual se obtuvo la sémola, etc.). Entre las variables de extrusión más importantes se destacan: relación de compresión del tornillo y velocidad del tornillo, relación agua/almidón (o humedad del material a la entrada del extrusor), la temperatura y el diámetro de la boquilla (Kokini y col. 1992a, Gómez y Aguilera 1984).

En general se puede afirmar que existe una relación directa entre el grado de cocción y la temperatura de extrusión.

Un aspecto muy importante que debe destacarse para comprender el proceso de cocción por extrusión es el hecho de que la pérdida de la estructura cristalina del almidón depende tanto de T como de la disponibilidad de agua. A medida que la disponibilidad del agua disminuye, se debe alcanzar mayor

temperatura para provocar la fusión de la estructura cristalina. Los niveles de humedad normalmente utilizados para elaborar productos extrudidos no superan el 30%, y particularmente para expandidos a base de maíz, tipo “snacks”, la humedad de la sémola de maíz empleada, se encuentra entre el 15 y 18 %. Para este nivel, la temperatura necesaria para lograr la fusión supera los 125°C. También es posible encontrar (para algunas condiciones) gránulos con la cruz de malta en productos extrudidos, debido a que algunas partículas pasan demasiado rápido a través del extrusor, sin sufrir transformaciones (debe destacarse que la distribución de tiempos de residencia en el extrusor, no es tipo “pistón”) y como la cocción tiene una cinética, el tiempo de residencia de esas partículas “rápidas” no es suficiente para tal proceso (Colonna y col. 1987).

Se puede concluir entonces, que según cómo se lleve a cabo la extrusión, pueden obtenerse diferentes productos. Si el proceso de extrusión se lleva a cabo a baja humedad se obtienen productos de expansión directa como “snacks”, harinas precocidas aptas para sopas cremas y formulaciones de textura suave tipo papillas. En cambio, si la extrusión se realiza a alta humedad se obtienen cereales para desayuno, harinas precocidas para preparar productos de textura granular como polentas, “arepas” (especie de pan de forma circular, hecho con maíz ablandado a fuego lento y luego molido, o con harina de maíz precocida, que se cocina sobre una plancha), “tortilla”, etc. (González y col. 1998 y 2000; Zhang y Hosney 1998).

Además, frente a la necesidad de aumentar la variedad de productos para la alimentación institucional, los productos expandidos mejorados nutricionalmente constituyen alternativas válidas para incorporar micronutrientes, por lo que en este trabajo se propone la fortificación de estos extrudidos.

## **1.6- OPTIMIZACIÓN DE LA EFICACIA NUTRICIONAL**

### **1.6.1- FORTIFICACIÓN**

Una de las formas de optimizar la eficacia nutricional es mediante la fortificación con minerales, vitaminas y la utilización de proteínas de buena calidad, como lo es la mezcla de cereales y legumbres.

La *Fortificación*, consiste en el agregado del o los nutriente/s a un alimento utilizado como vehículo, en un nivel superior al que contiene habitualmente. Es

---

una estrategia efectiva a largo plazo para combatir la deficiencia de micronutrientes.

Los principales factores a tener en cuenta son la elección del alimento a utilizar como vehículo (en función de los hábitos alimentarios de la población) y la correcta elección del compuesto utilizado como fortificante. La ventaja fundamental que posee este procedimiento consiste en que la población que está afectada por la deficiencia de uno o varios micronutrientes, podrá incorporar una cantidad adicional de los mismos a través de la dieta que habitualmente está acostumbrada a ingerir. Los alimentos más utilizados como vehículos de fortificación son principalmente los cereales y los productos lácteos y en menor proporción la sal, el azúcar y los condimentos. Al respecto, también podemos considerar a las leguminosas, que si bien poseen una escasa participación en la dieta de los argentinos, su incorporación en formulaciones permitiría difundir y extender su consumo.

Con respecto a las fuentes de minerales, para el Fe existen diferentes alternativas de compuestos de fortificación, que pueden ser clasificados en: solubles en agua, solubles en ácidos diluidos, insolubles en agua y ácidos diluidos y complejados o compuestos protegidos (Hurrell 1997). De los compuesto más empleados en fortificación vamos a hacer referencia al sulfato ferroso (SF), al bis-glicinato ferroso (BFe) y a la sal sódico-férrica del ácido etilen diamino tetraacético (EFe).

El SF es un compuesto muy soluble en agua y aporta un hierro de alta biodisponibilidad. En consecuencia es uno de los compuestos de elección primaria para ser utilizados en la fortificación de alimentos. Sin embargo, es altamente reactivo provocando la oxidación de las grasas y de algunos aminoácidos y vitaminas del alimento fortificado. Puede producir cambios desagradables de las características sensoriales del alimento, además de disminuir el valor nutricional de los mismos. Es ampliamente utilizado para fortificar alimentos sólidos deshidratados, que son conservados en envases herméticos aislantes de la humedad, como lo son las fórmulas infantiles (Hurrell 1997). También pueden ser utilizados para fortificar harinas y productos panificados que se consuman rápidamente, tal es el caso de las harinas fortificadas que se emplean en la Argentina.

El BFe es un compuesto quelado de hierro formado por dos moléculas de glicina unidas a un catión ferroso, que forman un compuesto heterocíclico con dos anillos. Su estructura podría proteger al hierro de los inhibidores presentes en el alimento y de las interacciones a nivel intestinal (Pérez y Tobón 2006). Si bien el BFe puede causar reacciones no deseadas sobre el color y la oxidación de grasas en las harinas de cereal almacenadas (OPS 2002), Bovell-Benjamin y col. (2000) han observado una buena disponibilidad del hierro en alimentos a base de maíz.

Otro compuesto de hierro complejado, es el EFe. El EDTA tiene la capacidad de unir hierro y otros cationes a través de seis uniones, cuatro con los grupos carboxílicos y las dos restantes por medio de uniones coordinadas con los grupos aminos (MacPhail y col. 1981). Las principales ventajas del EFe al ser utilizado en la fortificación de alimentos, radica en primer término en que el hierro de este compuesto está protegido de su unión con algunos inhibidores de la absorción del hierro no hem, como el ácido fitico presente en cereales y legumbres. De esta manera la disponibilidad del hierro llega a ser desde dos hasta casi tres veces superior a la del sulfato ferroso (INACG, 1993).

La búsqueda de “*compuestos de hierro protegidos*” (como la hemoglobina, o el EF) surge como consecuencia de la necesidad de utilizar compuestos que aporten un hierro con alta biodisponibilidad, como la que poseen los compuestos solubles en agua y que además posean una baja reactividad con la matriz nutricional, con el fin de ser tecnológicamente aptos para ser utilizados en los procesos industriales de fortificación alimentaria.

### **1.6.2- BIODISPONIBILIDAD**

Antes de discutir la importancia de los minerales en la dieta es necesario definir la biodisponibilidad.

El término biodisponibilidad se presta a confusión (Wienk 1999), por ello muchos investigadores han trabajado en una definición adecuada, llegando a proponer las siguientes definiciones, como ser:

❖ *Es una medida de la proporción del contenido total de un nutriente en un alimento que es digerido, absorbido y metabolizado por vías normales* (Fairweather-Tait 1987, Mahoney y Hendriks 1982).

❖ *La proporción de mineral en un alimento, comida o dieta que es utilizada por las funciones normales del cuerpo* (Fairweather-Tait 1992).



❖ *El porcentaje de mineral ingerido que está disponible para la acción metabólica* (Van Dukum 1992, Mahoney y Hendriks 1982).

❖ *La medida de la capacidad del hombre y de los animales, o la efectividad, por la cual los nutrientes en una dada forma química, son liberados del alimento en presencia de ciertos componentes alimenticios. Esto además incluye la absorción intestinal y el transporte de nutrientes a los órganos y las células donde finalmente cumplen con su función fisiológica* (Schlemmer 1995).

Existen algunas controversias acerca de si se debe o no incluir el hierro de almacenamiento en la biodisponibilidad. De acuerdo a algunas definiciones, la utilización debe ser demostrada, mientras que en otras definiciones el término “metabolizable” implica la posibilidad de uso del nutriente por el metabolismo como suficiente prueba de su biodisponibilidad.

La cantidad total de un nutriente (por ejemplo un mineral), en un alimento no representa la cantidad disponible para ser absorbida por el cuerpo. Sólo una cierta cantidad esta biodisponible. El término biodisponibilidad marca una diferencia entre la disponibilidad química y la disponibilidad biológica determinadas por bioensayos (Lee 1982).

La biodisponibilidad de un nutriente puede ser subdividida en tres fases (Watzake 1998):

1. Disponibilidad en el lumen intestinal para la absorción.
2. Absorción y/o retención en el cuerpo.
3. Utilización por el cuerpo.

La primera fase está determinada por la cantidad, la forma química del mineral y la presencia de otros componentes del alimento en el lumen intestinal. Las fases 2 y 3 dependen de los mecanismos de regulación homeostática y de las necesidades fisiológicas individuales del cuerpo.

Las necesidades de los minerales también varían mucho de acuerdo a la etapa biológica, ya que en la niñez, el embarazo y la lactancia se requieren mayores cantidades por el desarrollo de nuevos tejidos.

Se han propuesto tanto métodos “*in vivo*” como “*in vitro*” para determinar la disponibilidad de los elementos trazas.

Algunos métodos “*in vivo*” hacen uso de los radioisótopos en humanos (Ziegler y col. 1989, Fairweather-Tait 1995, Abrams y col. 1996, Fomon y col

2000 y 2005), lo que da una muy buena estimación de la biodisponibilidad. No obstante, en niños deben utilizarse isótopos estables, por una cuestión ética.

Los métodos “*in vitro*” consisten en una simulación de la digestión en el tracto gastrointestinal bajo condiciones determinadas. Estos métodos miden la disponibilidad para la absorción de los minerales en base a su solubilidad y además, algunas técnicas simulan una difusión pasiva a través de la mucosa. Por ejemplo, Miller y col. (1981) desarrollaron un método basado en la dializabilidad del hierro para determinar su disponibilidad. Particularmente este método realiza una digestión gastrointestinal, empleando pepsina en la etapa gástrica y una mezcla de pancreatina y sales de bilis durante la etapa intestinal. La proporción de los componentes que difunden a través de la membrana semipermeable durante la etapa intestinal, se emplea para predecir la disponibilidad de los elementos trazas. Este método es el más conocido para predecir la disponibilidad de minerales presentes en diferentes alimentos, por ser un método simple, rápido, económicamente accesible y muestra una buena correlación con los métodos “*in vivo*”. Shriccker y col, (1981) compararon la disponibilidad “*in vitro*” del hierro determinado según Miller y col. (1981), con la disponibilidad “*in vivo*” en ratas y humanos y determinaron que existe una correlación significativa entre ambos tipos de estudios. Otras experiencias basadas en el método de Miller confirman estas observaciones (Lombardi-Boccia y col. 1996).

### **1.6.3- IMPORTANCIA DE LOS MINERALES EN LA DIETA**

En algunos países, la desnutrición severa tiende a verse en edades cada vez más tempranas. Sin embargo, el problema preponderante es una situación de desnutrición crónica moderada con repercusiones sobre el desarrollo físico, funcional y social (ALAN 1994).

Las consecuencias de la deficiencia de hierro sobre la salud de la población implican para la persona adulta una reducción en la capacidad de trabajo y en consecuencia un descenso en la productividad, acarreando de esta manera serias consecuencias a nivel sanitario, social y económico en aquellos países donde estas deficiencias poseen altos índices de incidencia, agravando aún más la situación de la región (Dallman 1990, Cousins y Hempe 1990, Andraca y col. 1997, Basta 1979; Salgueiro y col. 2000 a y b y 2001). Durante el

embarazo, se observa un aumento en la incidencia de partos prematuros llegando a producirse en los casos más graves, mortalidad materna y/o fetal.

Las principales carencias nutricionales en los niños son debidas al hierro, al zinc, al calcio y a las vitaminas A y D (UNICEF 1999, O'Donnell y Britos 2002).

### **1.6.3.1- HIERRO**

#### **❖ FUNCIONES DEFICIENCIA DE HIERRO**

Cuando la deficiencia de hierro es severa trae como consecuencia la anemia, correspondiente a una reducción de la síntesis de hemoglobina.

La anemia por carencia de hierro en la dieta es considerada un serio problema de salud pública (Donato, 2001). La forma de anemia más grave se da en los niños menores de dos años, etapa crítica en el desarrollo neurológico. En edad escolar, el niño anémico puede presentar anomalías en el metabolismo y alteración del desarrollo cognitivo, lo que limita su rendimiento escolar y hasta se puede manifestar en conductas antisociales (Ceriani Cernadas y col. 2001, Martínez-Navarrete, 2002). También influye en el desempeño físico y aumenta la susceptibilidad a infecciones, ya que se relaciona con los mecanismos de defensa del organismo.

La anemia se manifiesta con color pálido de la piel, fatiga, irritabilidad, debilidad, dificultad respiratoria, lengua dolorida, uñas quebradizas, antojos alimentarios inusuales, disminución del apetito (especialmente en niños), dolor de cabeza frontal, coloración azul en la esclerótica (blanco de los ojos) (Aparna Oltikar 2001).

El hierro forma parte de la hemoglobina y se encarga de fijar el oxígeno, para ser intercambiado en los pulmones por dióxido de carbono. Es también un componente esencial de la mioglobina, por lo que la deficiencia de hierro puede afectar el metabolismo muscular independientemente del efecto de la anemia sobre la oferta de oxígeno.

Una mínima proporción forma parte de enzimas hemo, como los citocromos, las catalazas y las peroxidasas entre otras, y también es constituyente de sistemas enzimáticos fundamentales para los distintos procesos oxidativos (Martínez-Navarrete y col. 2002).

### ☒ **FUENTES DIETARIAS DE HIERRO Y BIODISPONIBILIDAD**

El hierro se presenta en los alimentos en 2 formas: como hierro hemínico y no hemínico (Hallberg 1981).

Las fuentes de hierro hemínico son las carnes rojas y blancas, pescados y sub-productos. El hierro hemínico es de buena biodisponibilidad, debido a que su absorción no es afectada por componentes de la dieta, excepto el calcio cuyo efecto inhibitorio no es en el lumen intestinal sino en el transporte intracelular. La absorción del hierro hemínico no está influenciada por las condiciones gastrointestinales debido a que la molécula hemo es absorbida como tal y el anillo de porfirina se rompe luego dentro de las células de la mucosa (Wienk 1999). El hierro hem presenta una absorción de 3-5 veces más elevada que el hierro no-hemínico.

La mayor parte de los alimentos tienen hierro no hemínico (como flavoproteínas ferrosulfuradas) y hierro inorgánico, que puede presentarse en dos valencias: como ión ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ) o ión férrico ( $\text{Fe}^{3+}$ ), siendo la primera, más fácil de absorber por el organismo (Andrews 1999).

Las fuentes de hierro no hemínico son los cereales integrales, las legumbres y algunas hortalizas verde intenso, frutas secas y huevos (Fennema, 1993).

Hay tres fases principales en la absorción del hierro no hemínico (Watzake 1998, Narasinga Rao 1981 y Andrews 1999):

- 1- *Fase intraluminal*: en la que el alimento es digerido por las enzimas gástricas y pancreáticas y es llevado a una forma soluble.
- 2- *Fase mucosa*: en la cual el hierro es tomado por las células de la mucosa y es transportado o retenido como ferritina.
- 3- *Fase corporal*: en la cual el hierro es tomado por la transferrina en el plasma o célula mucosa y llevada al hígado y a los tejidos hemoproteicos.

Cuando se ingiere hierro inorgánico, su absorción depende de la solubilidad y de la densidad de carga, que pueden afectarse por las condiciones del tracto gastrointestinal. No obstante, cuando la misma fuente de hierro se ingiere con alimentos, su absorción es función no sólo de la solubilidad y la densidad de carga, sino también de su reactividad con la matriz alimentaria (Clydesdale 1983).

Se ha estudiado mucho acerca de los mecanismos de absorción del hierro y la interacción con otros nutrientes y componentes dietarios que pueden actuar como promotores, tal es el caso del ácido ascórbico y de algunos ácidos orgánicos; o como inhibidores tales como los fitatos (Frontela y col 2008, Bohn y col 2008), los polifenoles (Brown y col. 1990, Mitchikpe y col 2008) y el calcio, entre otros. La biodisponibilidad del hierro, además de los diversos constituyentes de la matriz alimentaria (Clydesdale 1983) o dieta, depende también de las condiciones del medio determinadas por las secreciones fisiológicas (Benito y Miller 1998).

Por otro lado, la disminución de los depósitos de hierro favorece su absorción, pero este efecto no alcanza a compensar la disminución de la absorción de hierro por parte de ciertos inhibidores (Zijp 2000).

Los factores involucrados en la alta prevalencia de anemia ferropénica son la baja ingesta de hierro, las bajas cantidades de hierro biodisponible, determinada por la presencia de compuestos inhibidores en la dieta, el aumento de los requerimientos (estado fisiológico) y la pérdida de sangre en las mujeres en edad fértil o pérdidas intestinales por parasitismo.

#### **☒ EFECTO DEL PROCESADO EN LA DISPONIBILIDAD DEL HIERRO**

El procesamiento de los alimentos puede tener un impacto positivo en la biodisponibilidad del hierro, a través de la destrucción de inhibidores, como por ejemplo la degradación del inositol hexafosfato naturalmente presentes en las leguminosas, a otras formas de inositol fosfato (Ummadi y col. 1995) o a la formación de complejos solubles entre los componentes del alimento y el ión metálico. No obstante, el impacto del procesamiento también puede ser negativo, como por ejemplo por la desactivación de enzimas que degradan los inhibidores o la generación de compuestos metálicos insolubles (Watzake 1998).

El proceso de extrusión puede producir efectos variados en la solubilidad del hierro debido a los efectos del calor, la presión y la desnaturalización de las proteínas. Por otra parte, puede ser incrementada debido a la degradación de los fitatos que ocurre durante el proceso de extrusión (Watzake 1998, Frontela y col 2008 Mitchikpe y col 2008).

### 1.6.3.2- Calcio

#### ☒ **FUNCIONES Y DEFICIENCIA DE CALCIO**

El calcio es el quinto elemento del cuerpo en cuanto a abundancia. La mayor parte (alrededor del 99%), se encuentra en el esqueleto formando los dientes y los huesos como sales de fosfato de calcio, donde juega un importante rol en su estructura y fuerza y representa el 1,5 a 2% del peso corporal total de un adulto. Los tejidos corporales, las células nerviosas, la sangre y otros fluidos del cuerpo contienen la cantidad restante de calcio que interviene en funciones de regulación críticas, que incluyen la contracción muscular, la transmisión de impulsos nerviosos (actividad neuromuscular, función cardíaca) la actividad de enzimas y el mantenimiento de membranas celulares (Aparna Oltikar 2001). También juega un rol importante en la coagulación de la sangre y el mantenimiento de la integridad de las membranas. Su rol en la regulación metabólica es tan crítico que es necesario que su concentración en sangre se mantenga dentro de un rango muy estrecho. Si el calcio proveniente de la dieta es insuficiente para este propósito, los huesos actúan como reserva para mantener constante el nivel en sangre. Por lo tanto, la deficiencia de calcio a largo plazo puede resultar en una paulatina desmineralización esquelética y en el comienzo de la osteoporosis en adultos (Portela 1993).

La deficiencia de calcio puede provocar osteoporosis (enfermedad pediátrica con consecuencias geriátricas, según el National Institute of Child Health & Human Development - NICHD-), la cual es común en mujeres postmenopáusicas, además de la pérdida del hueso mandibular, problemas de salud oral secundarios e hipertensión entre otros trastornos (Aparna Oltikar 2001) El raquitismo y la osteomalacia también están relacionados con la baja ingesta de calcio (100 a 250 mg/día). Esto es común en dietas basadas en el maíz y sin productos lácteos. Si ha habido una buena nutrición y un adecuado abastecimiento de calcio, los depósitos serán suficientes como para mantener una densidad ósea adecuada en la segunda etapa de la vida (evitando así la osteoporosis). Desafortunadamente, si las reservas son bajas, no hay forma de incrementarlas. Es por lo tanto crítico consumir una dieta saludable y rica en calcio en la primera etapa de la vida y mantener un nivel moderado de ejercicios para asegurar una buena densidad ósea en edades avanzadas.

---

### ❖ **FUENTES DIETARIAS DE CALCIO Y BIODISPONIBILIDAD**

Los productos lácteos son una fuente excelente de este mineral, tanto en cantidad como en biodisponibilidad. Otros alimentos tales como los productos de soja, las legumbres, los vegetales de hoja, las sardinas, la caballa, las frutas secas y las algas marinas, aportan menores cantidades de calcio que son además, menos eficientemente absorbidas. El maíz nixtamalizado puede ser una fuente importante de calcio en algunos países. En la biodisponibilidad y absorción del calcio alimentario intervienen factores fisiológicos, condiciones fisiopatológicas y factores nutricionales y alimentarios como la composición de la dieta, en términos de niveles de calcio, contenido de proteínas, fósforo, magnesio, fibra, fitatos, grasa, lactosa y otros azúcares y vitamina D (Greger 1988, Frontela y col. 2008).

Si bien es cierto que algunos compuestos presentes en las diversas matrices de los alimentos, podrían asociarse químicamente con el calcio, formando complejos estables que disminuyan su disponibilidad, el nivel de consumo de los oxalatos, fitatos, fibras, grasas saturadas, etc., es tal, que no representa un grave problema en la absorción de este mineral.

#### **1.6.3.3- ZINC**

### ❖ **FUNCIONES Y DEFICIENCIA**

El zinc es un oligoelemento que tiene un papel importante para el funcionamiento adecuado del sistema inmunológico, la piel (reparación de tejidos, cicatrización), el crecimiento y la reproducción humana. Además interviene en el metabolismo, como componente de metalo-enzimas cumpliendo funciones catalíticas, estructurales y regulatorias, en la estabilización de membranas y en variadas funciones iónicas celulares (Aparna Oltikar 2001, Rosado 1998, Leviton 1982).

A diferencia del hierro y del cobre, no cambia su estado electroquímico, por lo que no interviene en reacciones de óxido-reducción. Por la misma razón, el organismo no corre riesgo de daño por oxidación, lo que permite que el zinc sea transportado y utilizado más fácilmente.

La deficiencia de zinc ha sido reconocida tanto en países industrializados como en países en desarrollo y en particular en dietas vegetarianas ya que los alimentos vegetales son especialmente ricos en Cu y Mg y los alimentos de origen

animal son ricos en Fe y Zn (Hunt 2003). Dado que no existe un indicador único para la detección de deficiencias, la evaluación del estado nutricional con respecto al zinc no es fácil de realizar (Hunt 2003) y este problema se detecta cuando aparecen manifestaciones clínicas o retardo en el crecimiento, que son revertidos mediante suplementación del mismo (Wise 1995). La deficiencia aislada es muy rara y cuando se presenta se halla asociada a cuadros de desnutrición severa, sobre todo de tipo Kwashiorkor.

Su deficiencia y se caracteriza por: crecimiento lento (enanismo), retraso muy importante en la maduración sexual, hipogonadismo en los hombres, disminución de desarrollo cognitivo (retrasa el crecimiento y la maduración de las neuronas, y afecta la actividad electrofisiológica y de transmisión en el cerebro), patrón errático del apetito caracterizado por periodos de disminución seguido de brotes de alimentación normal, anorexia, retraso en la cicatrización de las heridas (sobre todo de herpes y úlceras varicosas), pérdida de cabello y retardo en su crecimiento, deterioro del sentido del gusto y del olfato, o dificultad para adaptar la visión en la oscuridad, aumento de infecciones, piel seca y quebradiza. La severidad de los síntomas depende tanto del grado como de la duración de la deficiencia (Aparna Oltikar 2001, Rosado 1998).

#### ❖ **FUENTES DIETARIAS DE ZINC Y BIODISPONIBILIDAD**

El contenido de zinc de los alimentos es muy variable y las fuentes con mayor contenido las constituyen las ostras, los arenques y la carne roja magra. Otras fuentes proteicas como la carne de cerdo, aves, pescado, leche y sus derivados, tienen menor contenido de zinc. Los alimentos de origen vegetal poseen aún menores cantidades, salvo la porción embrionaria de los cereales como el germen de trigo (Solomons y Ruz 1997, Coyle y col. 1998).

La mayor parte del zinc de los alimentos está unido a proteínas y a ácidos nucleicos, generalmente en forma de complejos estables, por lo que el proceso digestivo debe ser eficiente para hacerlo biodisponible. En general, se puede decir que el zinc ligado a proteínas de tejidos animales posee mejor biodisponibilidad que el zinc de los vegetales (Hunt 2003).

Aunque la deficiencia de zinc puede ser ocasionada en muchos casos por la inadecuada ingesta dietaria, probablemente la presencia de inhibidores de la absorción sea la causa más común de su deficiencia. Otras causas serían malabsorción o elevadas pérdidas por diarreas (Van Dyck y col. 1996).



En cuanto a la influencia de inhibidores, los fitatos presentes en comidas a base de cereales y leguminosas, tienen un fuerte efecto negativo en la absorción del Zn (Lombardi-Boccia y col. 1996, Frontela y col 2008, Mitchikpe y col 2008). Su biodisponibilidad depende además de la presencia de ciertos iones. Así la fortificación con hierro, se asocia con una disminución de la disponibilidad del Zn (Herman y col. 2002, Domínguez y col. 2004, Mendoza y col. 2004). El hierro y el Zn siguen el mismo camino de absorción, compitiendo a nivel de las células de las mucosas (Solomons 1986, Solomons y Jacob 1981). Además, debe tenerse en cuenta que la suplementación tanto con hierro como con Zn puede disminuir la absorción de otros elementos trazas, tales como el Cu (Hunt 2003).

La Organización Mundial de la Salud (WHO 1992), categorizó a las dietas en función de la relación de contenidos de fitatos y zinc. Una dieta de *biodisponibilidad moderada* de Zn es aquella cuya relación molar fitato: zinc es de 5:15, tal como una dieta lacto, ovo y estrictamente vegetariana. Por otro lado, considera una *alta biodisponibilidad* de Zn para dietas en base a alimentos refinados, bajos en fibras con una relación molar fitatos: Zn menor a 5 y con una adecuada cantidad de proteínas especialmente de origen animal. Las dietas con *baja biodisponibilidad* de Zn son aquellas que se basan en altas cantidades de cereales enteros (como el salvado de trigo o arroz integral) y altas cantidades de fitatos (relación molar mayor a 15), que generalmente se emplean como fuente de energía, y bajas cantidades de proteínas de origen animal.

Por otro lado, altos niveles de calcio, también ejercen un efecto negativo en la biodisponibilidad del Zn y del hierro (Hunt 2003, Hallberg y col. 1991, WHO 1996, Johnson y Walker 1992, Umeta 2005).

# 2-OBJETIVOS

---

Generales y Específicos

---

## 2. OBJETIVOS

### 2.1- OBJETIVOS GENERALES

La presente tesis tuvo como objetivo general evaluar la factibilidad de obtener un producto tipo “snack” nutricionalmente mejorado para aumentar la variedad de productos aptos para alimentación institucional.

### 2.2- OBJETIVO ESPECÍFICOS

Los objetivos específicos fueron los siguientes:

- ✚ Analizar el efecto de la extrusión sobre las propiedades fisicoquímicas de una mezcla maíz-soja fortificada con distintas fuentes de minerales y con agregado de promotores de la absorción
- ✚ Estimar la disponibilidad de los minerales endógenos y de fortificación en estos productos (Fe, Zn y Ca).
- ✚ Mejorar la disponibilidad de minerales, particularmente de hierro, mediante la selección de diferentes fuentes (sulfato ferroso, bisglicinato ferroso y NaFeEDTA) y del uso de promotores (EDTA, ácido ascórbico y citrato), adecuados a la fuente de hierro utilizada.

# 3- MATERIALES Y MÉTODOS

---

### **3- MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1- MATERIAS PRIMAS**

##### **3.1.1- MAÍZ**

Para todos los ensayos, se empleó una muestra de sémola comercial de maíz colorado (Indalar S.A., Armstrong, Pcia. de Santa Fe). La granulometría de la misma estuvo comprendida entre 420 y 1190  $\mu\text{m}$ .

##### **3.1.2- SOJA**

Se utilizó una muestra de sémola de soja entera (“full fat”), obtenida a partir de porotos variedad “Don Mario”, los cuales fueron tratados térmicamente para inactivar la lipooxigenasa (LOX) por medio de la inmersión en agua hirviendo durante 2 min. Los granos inactivados (SI), fueron molidos utilizando un molino de rolos estriados Buhler-Miag (Alemania). La etapa de separación de las cáscaras se realizó con un dispositivo neumático con aire en contracorriente (construido en el ITA) y se obtuvo la sémola (“grits”), cuya granulometría estuvo comprendida entre 840 y 420  $\mu\text{m}$ .

##### **3.1.3- FORTIFICANTES**

Las fuentes de hierro utilizadas fueron bisclcinato ferroso (Ferrochel, Albion Lab, donado por Parmalat, Argentina), NaFeEDTA (Sigma) y sulfato ferroso (Cicarelli). El  $\text{ZnSO}_4$  y las sales de Calcio empleadas ( $\text{CaCl}_2$  y  $\text{CaCO}_3$ ) fueron marca Cicarelli. En todos los casos, se usaron reactivos calidad analítica.

##### **3.1.4- PROMOTORES**

Como promotores de la absorción de minerales se evaluaron: el Acido Ascórbico, el Citrato de Sodio y el  $\text{Na}_2\text{EDTA}$ . En todos los casos, se emplearon reactivos calidad analítica, marca Cicarelli.

#### **3-2- EXTRUSIÓN**

##### **3.2.1- CARACTERÍSTICAS DEL EXTRUSOR EMPLEADO**

La extrusión se llevó a cabo con un extrusor monotornillo marca Brabender, tipo 20 DN (relación largo-diámetro igual a 20) (Alemania), provisto con un tornillo de relación de compresión 4/1 y una boquilla de 3 mm de

diámetro y 20 mm de largo. El equipo posee un sistema dinamométrico, registrador del momento torsor (torque) ejercido sobre el eje de rotación y tiene la posibilidad de variar la velocidad de rotación del tornillo (rpm) en forma continua. Las temperaturas se midieron con termocuplas ubicadas en el cañón o cilindro (entre la zona de la alimentación y la punta del tornillo) y en el punto intermedio del cabezal portador de la boquilla. Las termocuplas miden la temperatura de la masa de acero (en una zona media) con que están construidas estas partes del equipo. Pero también, en la zona de la boquilla se mide la temperatura del material que fluye a través de él, por medio de otra termocupla que está directamente en contacto con el fluido.

### 3.2.2- OBTENCIÓN DE LAS MUESTRAS EXTRUDIDAS

De acuerdo a ensayos previos (Perez Rubín 2004), se seleccionó un nivel de reemplazo de la sémola de maíz con 21% de sémola de soja. A las sémolas de maíz y de soja, en proporción (88/12) se les adicionó la cantidad de agua necesaria para alcanzar la humedad de extrusión (14%) y los demás ingredientes (fuentes de minerales y promotores) correspondientes a cada muestra.

Las sales de fortificación se disolvieron en el agua de hidratación en una cantidad tal que permitiera alcanzar un contenido final establecido para cada caso (Fe, Zn y Ca). Las concentraciones empleadas fueron para el Fe de 40 ppm, para el Zn de 30 ppm, mientras que para el Ca fue de 1700 ppm. El nivel de hierro utilizado es el que habitualmente se utiliza en fortificación de harina de maíz, el de zinc fue seleccionado a fin de que la relación Fe:Zn no fuera mayor de 2:1 y el nivel de calcio de tal modo que el aporte de sea de aproximadamente 500 mg/1000kcal. En el caso de los promotores, las cantidades agregadas fueron las siguientes: Na<sub>2</sub>EDTA: 26,6 mg% (BS); Citrato de Sodio: 1053 mg% (BS) y Ácido Ascórbico: 100,9 mg% (BS), que correspondieron a relaciones molares Fe: AA: (1:8), Fe: citrato: (1:50) y Fe: EDTA: (1:1). Se prepararon 24 mezclas distintas, incluyendo la muestra control (sólo maíz/soja), cuyos códigos se muestran en la Tabla 3.1.

Cada mezcla fue preparada utilizando un mezclador planetario Brabender P-600 L (Alemania) a una velocidad de rotación de 60 rpm, 2 h antes del proceso de extrusión. Las muestras extrudidas (obtenidas por

duplicado), fueron guardadas en una bolsa de polipropileno herméticamente cerrada hasta su evaluación.

Las condiciones de extrusión seleccionadas fueron las siguientes: temperaturas de cilindro y boquilla: 178°C y velocidad de rotación del tornillo 150 rpm. La alimentación al extrusor se realizó de manera de llenar totalmente los canales del tornillo en la sección de alimentación (“full-capacity”) y las muestras fueron obtenidas una vez alcanzado el régimen estacionario (torque y caudal constantes).

**Tabla 3.1:** Identificación de las muestras elaboradas.

Muestra	Identificación
Control: maíz/soja	C
Control+Ácido Ascórbico	AA
Control+FeSO <sub>4</sub>	SF
Control+FeSO <sub>4</sub> +Ac. Ascórbico	SF+AA
Control+Citrato	Citr
Control+ Na <sub>2</sub> EDTA	EDTA
Control+Na <sub>2</sub> EDTA+FeSO <sub>4</sub>	SF+EDTA
Control+Bisglicinato Ferroso	BFe
Control+NaFeEDTA	EFe
Control+BFe+Ac. Ascórbico	BFe+AA
Control+NaFeEDTA+Ac. Ascórbico	EFe+AA
Control+BFe+Citrato	BFe+Citr
Control+BFe+Na <sub>2</sub> EDTA	BFe+EDTA
Control+NaFeEDTA+Citrato	EFe+Citr
Control+FeSO <sub>4</sub> +ZnSO <sub>4</sub>	SF+Zn
Control+CaCO <sub>3</sub> +ZnSO <sub>4</sub>	Ca+Zn
Control+CaCO <sub>3</sub> +FeSO <sub>4</sub>	SF+Ca
Control+FeSO <sub>4</sub> +ZnSO <sub>4</sub> +CaCO <sub>3</sub>	3
Control+FeSO <sub>4</sub> +ZnSO <sub>4</sub> +CaCO <sub>3</sub> +Citrato	3+Citr
Control+ FeSO <sub>4</sub> +ZnSO <sub>4</sub> +CaCO <sub>3</sub> +Na <sub>2</sub> EDTA	3+EDTA
Control+CaCO <sub>3</sub> +Citrato	Ca+Citr
Control+FeSO <sub>4</sub> +ZnSO <sub>4</sub> +CaCl <sub>2</sub>	III
Control+FeSO <sub>4</sub> +ZnSO <sub>4</sub> +CaCl <sub>2</sub> +Citrato	III+Citr
Control+FeSO <sub>4</sub> +ZnSO <sub>4</sub> +CaCl <sub>2</sub> +Na <sub>2</sub> EDTA	III+EDTA

### **3.3- EVALUACIONES REALIZADAS A LOS EXTRUDIDOS**

#### **3.3.1- CARACTERÍSTICAS RELACIONADAS CON EL PROCESO DE EXTRUSIÓN**

##### **3.3.1.1- CAUDAL MÁSIICO ( $Q_s$ )**

Se determinó pesando la muestra obtenida en un minuto y refiriéndola a la humedad de alimentación. Se expresa en (g/min). Se obtuvieron 2 valores de caudal por cada muestra.

##### **3.3.1.2-MOMENTO TORSOR O TORQUE**

Se obtuvo del registro del dinamómetro (en gf x cm), en el momento de tomar la muestra para el caudal.

##### **3.3.1.3- CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA MECÁNICA (CEEM)**

Se calculó utilizando la Ecuación 3.1:

$$CEEM = \frac{K \tau N}{Q_s} \quad (\text{Ec. 3.1})$$

Siendo:

$K$ : constante =  $61,3 \cdot 10^{-3} \text{ J g}^{-1}$ ;

$\tau$ : torque en Unidades Brabender (lectura de registro gráfico);

$N$ : rpm del tornillo extrusor ( $\text{min}^{-1}$ )

$Q_s$ : Caudal másico referido a la humedad de alimentación (g/min).

El CEEM se expresa en (J/g). Esta fórmula surge de considerar que la potencia (torque x rpm) absorbida por el motor, dividido por el caudal másico nos da la energía mecánica consumida por gramo de muestra.

#### **3.3.2- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL PRODUCTO**

##### **3.3.2.1- EXPANSIÓN**

En todos los casos se midió el diámetro (mm) de los trozos de extrudidos con un calibre manual Vernier (Stronger) en 10 zonas distintas escogidas al azar. La expansión se calculó como la relación entre el diámetro medio del extrudido y el diámetro de la boquilla según la Ecuación 3.2:



$$Exp = \frac{D}{d} \quad (\text{Ec. 3.2})$$

Siendo,

$D$ : es el diámetro promedio del material extrudido

$d$ : es el diámetro de la boquilla del extrusor.

### 3.3.2.2- VOLUMEN ESPECÍFICO (*Vol Esp*)

El volumen específico de las muestras extrudidas se determinó en base seca según la Ecuación 3.3:

$$Vol Esp = \frac{\pi D^2 L}{4 Q_s'} \quad (\text{Ec.:3.3})$$

Siendo,

$D$ : Diámetro promedio del extrudido (cm),

$Q_s'$ : Caudal másico expresado en base seca (g/min)

$L$ : Longitud del extrudido por min  $\left( \frac{\text{cm}}{\text{g} \cdot \text{min}} \right)$ .

El Vol Esp da una idea de la “porosidad” de la muestra. A mayor Vol Esp, mayor será la porosidad del producto. El Vol Esp esta directamente relacionado con el grado de cocción (González y col. 2002).

### 3.3.3- EVALUACIÓN DE LA DUREZA SENSORIAL Y DE LA RESISTENCIA MECÁNICA

Para realizar estas determinaciones, una alícuota de 100g de cada muestra extrudida (en trozos de aproximadamente 6 cm) fue secada en estufa a 70°C, hasta un contenido de humedad de 6%, el cual resulta adecuado para evaluar un expandido de maíz (González y col. 2004) y fue guardada en una bolsa de polipropileno herméticamente sellada, para el posterior análisis tanto sensorial, como de la resistencia mecánica.

#### 3.3.3.1- DUREZA SENSORIAL

El estudio se llevó a cabo con la participación de un panel entrenado compuesto por tres personas. Se analizó el atributo *dureza* utilizando una escala anclada en los extremos comprendida entre 1 y 9. Dichos extremos de

la escala de dureza fueron establecidos utilizando mezclas de maíz-soja (88:12) procesadas a 185°C con una humedad de 15%, para la más cocida o más banda, a la que se le asignó el valor 1; y otra extrudida a 165°C y 17 % de humedad, como referencia para la menos cocida o más dura, a la que se le asignó el valor 9 de la escala. Estas muestras se obtuvieron en ensayos previos y se seleccionaron teniendo en cuenta que la dureza de las muestras experimentales estaba comprendida entre estos dos extremos adoptados.

### **3.3.3.2- RESISTENCIA MECÁNICA**

A los efectos de comparar los valores de dureza obtenidos con el panel con una medida instrumental, se realizó la determinación de la resistencia a la compresión de un trozo de extrudido de 6 cm de longitud, utilizando una máquina universal de ensayos marca Instron modelo 4411, con una celda de carga de 500 kgf y a una velocidad de compresión de 10 mm/min, de acuerdo con Park y col. (1993). Cada determinación se realizó por quintuplicado. Estos ensayos fueron realizados en los laboratorios de Química de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Autónoma de Yucatán (Mérida-México), bajo la dirección del Dr. Luis Chel.

### **3.3.4- SOLUBILIDAD EN AGUA**

Se utilizó la técnica descrita por Anderson y col. (1969) con las modificaciones realizadas por González y col. (1986). Se suspendieron 1,25 g de muestra, previamente molida en molino CICLOTEC (UDY-Suecia), con malla de 1 mm, en 25 ml de agua en tubos de centrífuga, a temperatura ambiente y se agitó durante 30 min; se centrifugó a 2000xg por espacio de 30 min, obteniéndose un sobrenadante y un residuo o gel insoluble. En el sobrenadante, se determinó el contenido de sólidos solubles por evaporación en estufa a 105°C y se calculó la solubilidad como el porcentaje de este peso respecto al de la muestra seca. Estas determinaciones se realizaron por duplicado.

### **3.3.5- EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS NUTRICIONALES DE LOS EXTRUDIDOS**

Todas las determinaciones se realizaron utilizando las muestras molidas en molino de martillos fijos Retsch (Alemania) con malla de 1 mm.

### **3.3.5.1- EVALUACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE LOS EXTRUDIDOS**

Las determinaciones de humedad, materia grasa, proteínas, cenizas, y almidón se realizaron de acuerdo a las técnicas establecidas por la AACC (AACC, 1994). Todas las determinaciones fueron realizadas por duplicado.

### **3.3.5.2- DETERMINACIÓN DE FIBRA DIETARIA TOTAL**

Se determinó sobre las muestras desgrasadas extrudidas según la técnica de la AOAC (1990). El análisis se realizó por duplicado. La muestra se trató con Termamil (una  $\alpha$ -amilasa termoestable) y luego se sometió a una digestión enzimática con una proteasa y con una amiloglucosidasa. La fibra dietaria soluble se precipitó con etanol, se filtró y se lavó con etanol al 78%, al 95% y finalmente con acetona. El precipitado total se secó y pesó. En uno de los duplicados se determinó proteínas y en el otro cenizas. La fibra dietaria total se calculó según la Ecuación 3.3:

$$\text{Fibra dietaria total} = g \text{ del precipitado total} - (g \text{ proteínas} + g \text{ cenizas}) \quad (\text{Ec.:3.3})$$

### **3.3.5.3- DETERMINACIÓN DE LA DIALIZABILIDAD DE MINERALES**

La disponibilidad de los minerales se estimó utilizando la técnica de dializabilidad de Miller y col. (1981) modificada por Wolfgor y col. (2002). Las muestras se prepararon al 10% de sólidos en base seca y se llevaron a pH 2 con HCl 4 N. Luego se les agregó 0,8 ml de una solución de pepsina al 16% en HCl 0,1N y se incubaron durante 2 horas a 37°C. Para incrementar gradualmente el pH, se agregó una bolsita de diálisis de 24 cm de longitud de cut-off 6-8 kDa (Spectrapore) que contenía una solución de buffer PIPES cuyo pH se calculó de acuerdo a Drago y col. (2005). Luego de 50 minutos se agregó 6,25 ml de una solución de bilis-pancreatina (2,5% de bilis y 0,4% de pancreatina en NaHCO<sub>3</sub> 0,1N) y nuevamente se incubó durante 2 horas a 37°C. Al finalizar la digestión, se retiraron las bolsitas y el dializado se pesó. El contenido de Fe, Zn y Ca se determinó por espectroscopia de absorción atómica. La disponibilidad de cada mineral se calculó como la cantidad de mineral dializado expresada como porcentaje del contenido de mineral total en la muestra. Los ensayos fueron realizados por triplicado.

### **3.3.5.4- DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE MINERALES TOTALES**

La muestra se llevó a mufla a 550 °C durante 4 horas. Las cenizas se levantaron con 10 ml de HCl 10%. Luego se midió el contenido de Fe, Zn y Ca

por espectroscopia de absorción atómica, utilizando un equipo Instrumentation Laboratory, modelo IL 551. Las determinaciones fueron realizadas por triplicado.

### **3.3.6- ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS**

El ANOVA correspondiente a cada tipo de ensayo, se realizó utilizando el programa STATGRAPHICS Plus 3.0. En todos los casos, se aplicó el test estadístico de Duncan para determinar diferencias significativas entre las medias de tratamiento ( $P < 0,05$ ). Otros análisis de regresión simple y algunas representaciones gráficas se realizaron por medio de la planilla de cálculo de Microsoft EXCEL (Office 2000).

# 4-RESULTADOS

---

# 4.1-Propiedades Físicas

---

## 4- RESULTADOS

### 4.1- EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS

La Tabla 4.1 muestra los valores medios correspondientes a cada una de las características evaluadas: aquellas relacionadas con el proceso: Torque (T), Caudal Másico (Q) y Consumo Específico de Energía Mecánica (CEEM), las relacionadas con las características físicas: Expansión (Exp.), Volumen Específico (Vol Esp), Solubilidad en agua (Sol) y la Resistencia Mecánica (Res) y la evaluación sensorial de la Dureza. Estos valores medios mostraron una dispersión comprendida entre 2 y 10%. El rango de variación para el Torque fue de 4 a 8%; para el Caudal: 2 a 4%, para el CEEM: 4 a 9%; para la Expansión: 4 a 8%, para Vol Esp: 3 a 5%, para Sol: 2 a 4% y para Res: 5 a 10%. Con respecto a la evaluación sensorial, se debe aclarar que debido a que los valores fueron obtenidos por consenso, no presentan dispersión.

Las muestras que contenían  $\text{CaCl}_2$  no se evaluaron debido a que no se pudo alcanzar el régimen estacionario, siendo la operación muy inestable. El  $\text{CaCl}_2$  podría estar afectando el nivel de fricción entre el cilindro y el material provocando la inestabilidad. No obstante, será necesario realizar otros ensayos utilizando otras condiciones de extrusión, por ejemplo otro tornillo con menor relación de compresión, lo cual está más allá de los objetivos de esta tesis.

Las Tablas 4.2.a, 4.2.b, 4.2.c, 4.2.d, 4.2.e, 4.2.f y 4.2.g muestran los resultados del ANOVA correspondientes a las 21 muestras. Se puede observar que existen diferencias significativas entre las muestras para todas las propiedades evaluadas. No obstante, se debe tener en cuenta que existe una importante dispersión, la que se atribuye a dos factores: por un lado a los errores experimentales propios de la extrusión y por otro a los errores correspondientes a la medida de cada propiedad.

**Tabla 4.1:** Valores medios de las propiedades evaluadas correspondientes a cada muestra. Torque, Caudal Másico (Q), Consumo Específico de Energía Mecánica (CEEM), Expansión (Exp), Volumen Específico (Vol esp), Solubilidad en agua (Sol), Dureza sensorial; Resistencia mecánica (Res)

Muestra	Torque (UB)	Q (g/min)	CEEM (J/g)	Exp.	Vol esp (cm <sup>3</sup> /g)	Sol. (%)	Dureza Sensorial	Resistencia kgf
C	5825	84,05	638	4,02	10,10	43,0	3	3,02
SF	5825	83,70	637	4,03	9,74	42,0	3	3,20
AA	5740	83,90	629	3,82	9,63	42,0	4	3,80
BFe	5675	83,10	627	3,61	8,86	38,0	3	3,50
EDTA	5600	82,25	626	3,98	9,85	45,0	3	2,95
EFe+AA	5560	82,50	620	3,82	8,95	37,0	4	4,10
SF+AA	5675	84,20	618	3,82	8,92	40,0	3	4,30
SF+EDTA	5525	82,50	616	3,61	9,18	40,5	2	2,70
BFe+AA	5560	82,25	610	3,83	8,93	38,0	3	3,08
EFe	5475	83,15	605	3,80	8,90	36,0	3	4,10
BFe+EDTA	5410	82,50	604	3,50	8,74	37,0	3	3,70
SF+Zn	5500	83,87	602	3,74	9,15	39,0	3	3,15
Bfe+Citr	4850	85,30	522	3,45	6,91	32,0	5	5,70
Citr	5425	85,90	580	3,55	7,81	37,0	4	4,60
SF+Citr	5225	85,15	563	3,45	7,40	35,0	4	3,90
3+Citr	5500	90,25	560	3,29	7,40	40,0	7	6,20
Efe+Citr	5180	85,65	557	3,40	7,20	34,0	4	4,10
SF+Ca	5410	91,00	547	3,25	7,40	41,0	6	5,80
Ca+Zn	5250	90,35	535	3,29	7,50	41,0	5	5,50
3	5350	92,25	533	3,27	7,40	39,0	5	5,90
3+EDTA	5125	92,00	511	3,02	7,10	42,0	8	7,05

#### 4.1.1- EFECTO SOBRE EL CEEM

En primer lugar, se observa que los valores de Torque y Caudal fueron afectados de manera diferente según fue la composición de la muestra. En general, para el torque se obtuvieron valores que variaron en un rango bastante estrecho para la mayoría de las muestras, esto es entre 5825 y 4850 unidades Brabender (UB), y para los caudales, entre 82,25 y 85,90 (g/min) respectivamente, excepto para aquellas muestras que contenían Ca. En ellas, el caudal fue significativamente mayor (entre 90,25 y 92,25 g/min), mientras que el torque disminuyó a valores entre 5500 y 5125 (UB). Por su parte las muestras que contenían Citrato, presentaron valores intermedios de torque y caudal, siendo: entre 4850 y 5500 (UB) y entre 85,15 y 90,25 (g/min),



respectivamente. Estas diferencias explican los valores de CEEM, los cuales son significativamente más bajos para las muestras que contienen Ca e intermedios para las muestras con citrato.

**Tabla 4.2.a:** Resultados ANOVA para el Torque. Las diferencias significativas se determinaron con Test de Duncan ( $P < 0,05$ )

Muestra	Media	Grupos Homogéneos
BFe+Citr	4850,0	a
3+EDTA	5125,0	b
EFe+Citr	5187,5	b, c
SF+Citr	5225,0	b, c, d
Zn+Ca	5250,0	b, c, d
3	5350,0	c, d, e
SF+Ca	5412,5	d, e, f
BFe+EDTA	5412,5	d, e, f
Citr	5425,0	d, e, f
EFe	5475,0	e, f, g
3+Citr	5500,0	e, f, g
SF+Zn	5500,0	e, f, g
BFe+AA	5512,5	e, f, g
SF+EDTA	5525,0	e, f, g
EFe+AA	5562,5	f, g, h
EDTA	5600,0	f, g, h
BFe	5675,0	g, h, i
SF+AA	5675,0	g, h, i
AA	5737,5	h, i
SF	5825,0	h, i
C	5825,0	h, i

**Tabla 4.2.b:** Resultados de ANOVA para el Caudal. Las diferencias significativas se determinaron con Test de Duncan. ( $P < 0,05$ )

Muestra	Media	Grupos Homogéneos
EDTA	82,250	a
SF+EDTA	82,500	a, b
EFe+AA	82,500	a, b
BFe+EDTA	82,525	a, b
BFe	83,100	a, b
EFe	83,150	a, b
BFe+AA	83,250	a, b
SF	83,700	a, b, c
SF+Zn	83,875	a, b, c
AA	83,900	a, b, c
C	84,050	b, c, d
SF+AA	84,200	b, c, d, e
SF+Citr	85,150	c, d, e
BFe+Citr	85,300	c, d, e
EFe+Citr	85,625	d, e
Citr	85,850	e
3+Citr	90,250	f
Zn+Ca	90,325	f
SF+Ca	91,000	f, g
3+EDTA	92,025	g
3	92,25	g

Cuando se trabaja con harina de maíz, el CEEM y la Sol son indicadores directos del grado de cocción (González y col. 1987, Mercier y Feillet 1975). Sin embargo, los menores valores de CEEM correspondientes a las muestras con Ca, no se corresponden con los altos valores de Sol que poseen esas muestras. Esto podría explicarse teniendo en cuenta que la alcalinidad producida por el carbonato de Ca, generaría una mayor cantidad de solubles durante la extrusión, es decir que a los solubles producidos por la acción termomecánica, se agregan aquellos producidos por la acción química.

Para las muestras con citrato, se observa la relación mencionada entre CEEM y Sol, donde los menores valores de Sol correspondientes a las muestras con Citrato se atribuyen a la disminución de la acción termomecánica (menor CEEM), que influye directamente sobre el grado de cocción.

**Tabla 4.2.c:** Resultados de ANOVA para el CEEM. Las diferencias significativas se determinaron con Test de Duncan. (P<0,05)

Muestra	Media	Grupos Homogéneos
3+EDTA	511,135	a
BFe+Citr	522,558	a, b
3	533,175	b, c
Zn+Ca	833,905	b, c
SF+Ca	547,165	c, d
EFe+Citr	557,345	d
3+Citr	560,000	d
SF+Citr	562,997	d
Citr	580,327	e
SF+Zn	601,220	f
BFe+EDTA	603,193	f
EFe	605,140	f
BFe+AA	609,683	f, g
SF+EDTA	615,785	f, g
SF+AA	619,737	f, g, h
EFe+AA	620,265	f, g, h
EDTA	626,038	g, h, i
BFe	627,940	g, h, i
AA	628,878	g, h, i
C	637,2005	h, i
SF	640,015	i

#### 4.1.2- EFECTO SOBRE LA EXPANSIÓN Y EL VOLUMEN ESPECÍFICO

Otra característica de las muestras con Ca es que presentan menores valores de Expansión (Exp) y de Vol Esp (Tablas 4.2.d y 4.2.e). Mientras que las que contienen Citr, presentan valores bajos de Vol Esp pero los correspondientes a la Exp son intermedios.

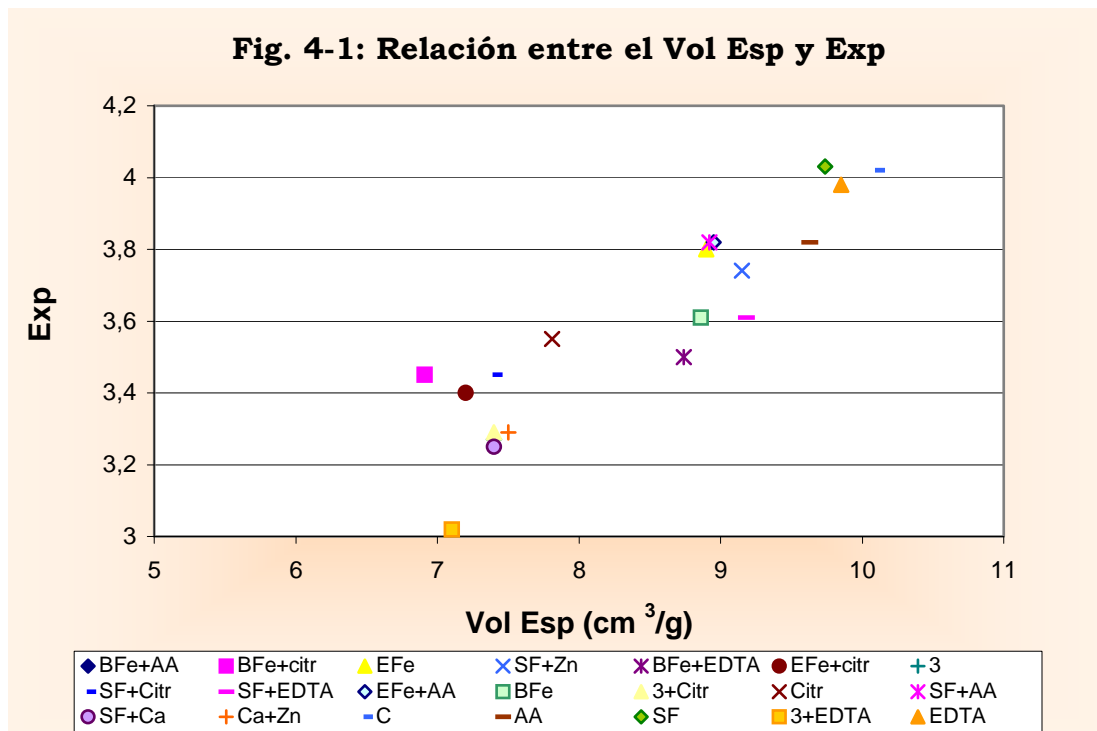
**Tabla 4-2.d:** Resultados de ANOVA para la Expansión. Las diferencias significativas se determinaron con Test de Duncan ( $P < 0,05$ )

Muestra	Media	Grupos Homogéneos
3+EDTA	3,0200	a
SF+Ca	3,2525	b
3	3,2725	b
Zn+Ca	3,2875	b, c
3+Citr	3,2900	b, c
BFe+Citr	3,3000	b, c
EFe+Citr	3,4075	c, d
SF+Citr	3,4500	d, e
BFe+EDTA	3,5000	d, e, f
Citr	3,5500	e, f
BFe	3,6075	f
SF+EDTA	3,6100	f
SF+Zn	3,7400	g
EFe	3,7975	g
EFe+AA	3,8200	g
AA	3,8200	g
SF+AA	3,8200	g
BFe+AA	3,8325	g
EDTA	3,9800	h
C	4,0175	h
SF	4,0300	h

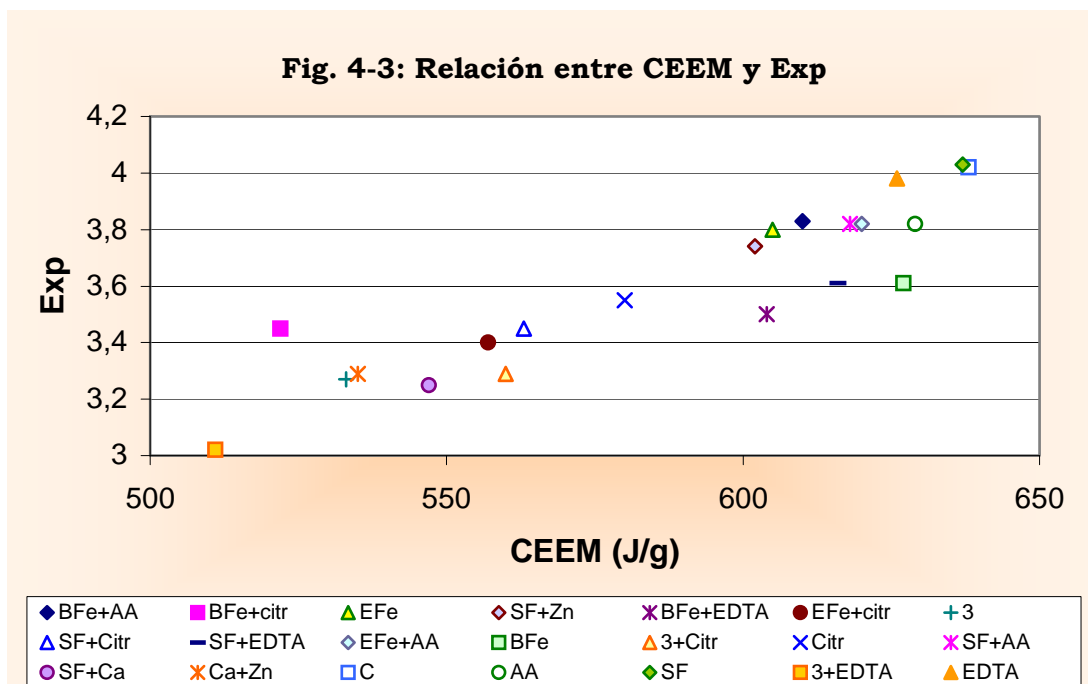
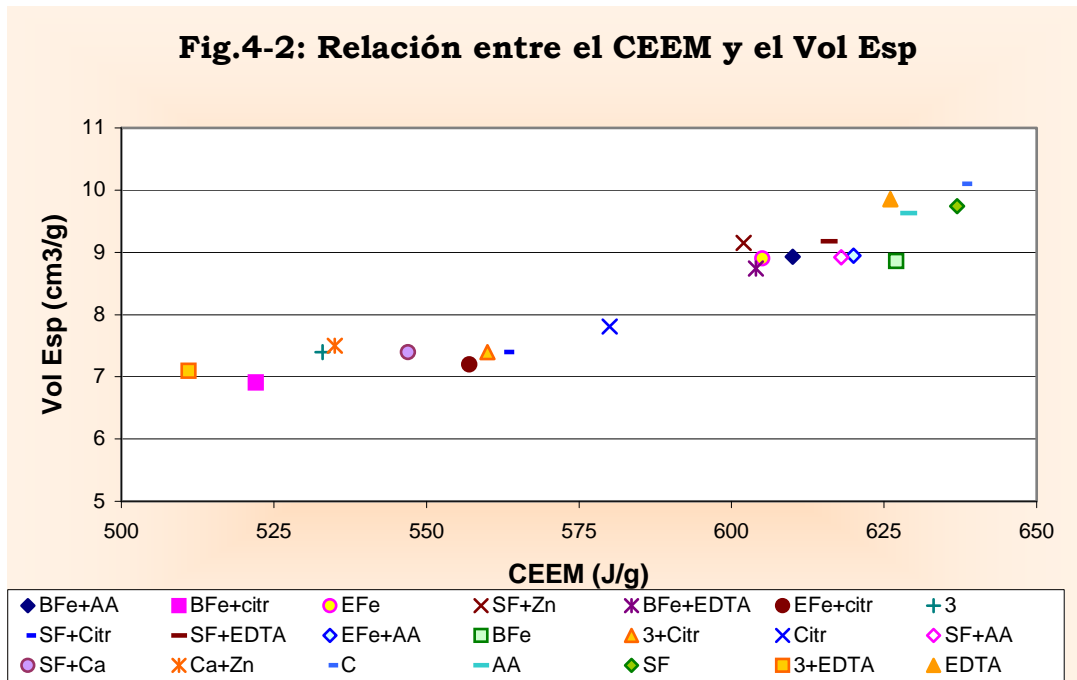
**Tabla 4.2.e:** Resultados de ANOVA para el Vol Esp. Las diferencias significativas se determinaron con Test de Duncan. ( $P < 0,05$ )

Muestra	Media	Grupos Homogéneos
BFe+Citr	6,9125	a
3+EDTA	7,0950	b
EFe+Citr	7,2000	b
3	7,3975	c
3+Citr	7,4000	C
SF+Citr	7,4075	C
SF+Ca	7,4250	C
Zn+Ca	7,5000	C
Citr	7,8075	D
BFe+EDTA	8,7425	E
BFe	8,8600	e, f
EFe	8,9000	e, f
SF+AA	8,9200	e, f
BFe+AA	8,9275	e, f
EFe+AA	8,9500	F
SF+Zn	9,1500	g
SF+EDTA	9,1800	G
AA	9,6325	H
SF	9,7400	h, i
EDTA	9,8500	I
C	10,1000	J

La Figura 4-1 muestra la relación directa entre la Exp y el Vol Esp, lo que es coherente con lo que debería esperarse para las condiciones de extrusión seleccionadas, ya que las mismas corresponden a aquellas necesarias para obtener un producto expandido tipo “snack”. A mayor expansión, el extrudido posee mayor porosidad y por lo tanto le corresponde un mayor volumen específico. En la Figura 4-1 también se observan dos grupos característicos: el de las muestras con Ca y Citrato, de menor CEEM y menor Exp y el resto de las muestras, con las que se mantiene la relación directa ya mencionada entre la Exp y el Vol Esp.



En la Figura 4-2 se observa la relación directa entre CEEM y Vol Esp, lo que confirma que ambos son indicadores directos del grado de cocción, y que además presenta también los dos grupos de muestras diferenciadas: las que poseen Ca y/o Citrato y el resto.



En la Figura 4-3 se presenta la relación entre el CEEM y la Exp. Se observa que, aún con cierto grado de dispersión, se mantiene la relación directa entre estas dos respuestas, tal como ocurre cuando se trabaja con harina de maíz (González y col. 2002).

No obstante se puede destacar que la menor expansión corresponde a las muestras que contienen Ca y que aquellas que contienen citrato presentan una expansión intermedia.

Para poder explicar las diferencias observadas entre las otras muestras y la muestra control, deberían realizarse otras experiencias, recurriendo a un diseño experimental que contemple como factor el nivel de los promotores o el nivel de fortificación (Fe, Zn o Ca).

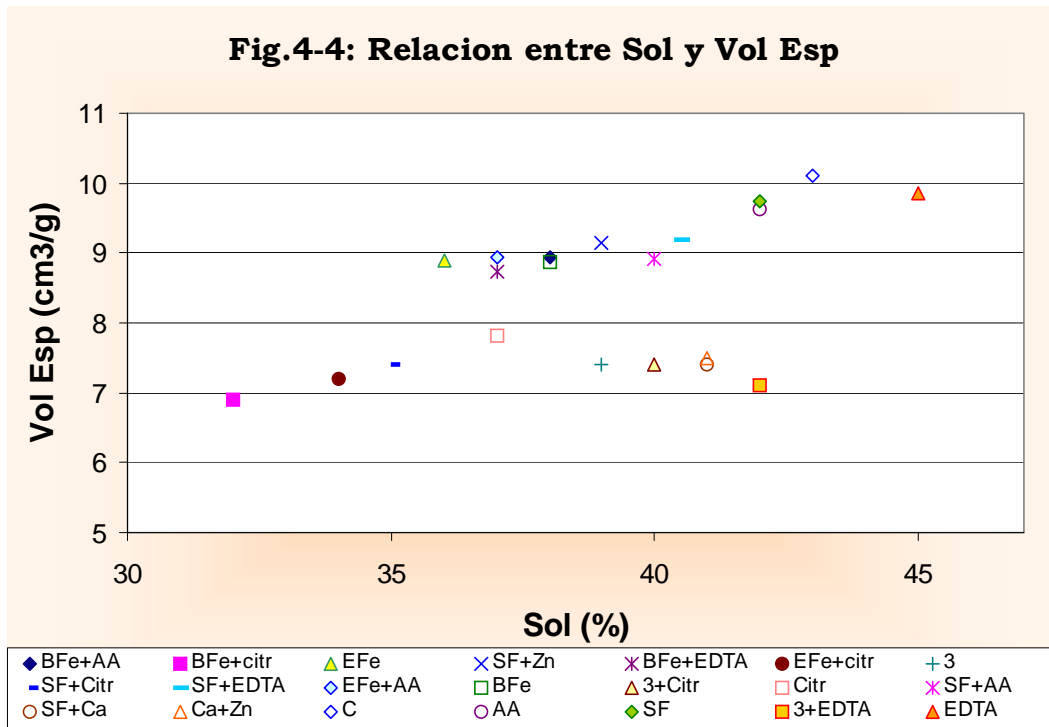
**4.1.3- EFECTO SOBRE LA SOLUBILIDAD**

La Tabla 4.2.f muestra los resultados del ANOVA para la solubilidad y la Figura 4-4, la relación directa entre la Sol y el Vol Esp.

**Tabla 4-2.f:** Resultados de ANOVA para la Solubilidad. Las diferencias significativas se determinaron con Test de Duncan. (P<0,05)

Muestra	Media	Grupos Homogéneos
BFe+Citr	32,0	a
EFe+Citr	34,0	b
Efe	34,0	b
BFe+EDTA	35,0	b
EFe+AA	37,0	c
SF+Citr	37,0	c
Citr	37,0	c
BFe+AA	38,0	c, d
BFe	38,0	c, d
3	39,0	d, e
SF+Zn	39,0	d, e
3+Citr	40,0	e, f
SF+AA	40,0	e, f
SF+EDTA	40,5	F
Zn+Ca	41,0	f, g
SF+Ca	41,0	f, g
SF	42,0	g, h
3+EDTA	42,0	g, h
AA	42,0	g, h
C	43,0	h
EDTA	45,0	i

Los resultados obtenidos son esperables, si se tiene en cuenta que tanto la Sol como el Vol Esp (y también el CEEM) son indicadores directos del grado de cocción. No obstante, se destacan también las Solubilidades correspondientes a las muestras con Ca, que tal como ya fue indicado, presentan mayores valores que los que corresponderían al grado de cocción alcanzado, según los valores de CEEM y de Vol Esp.



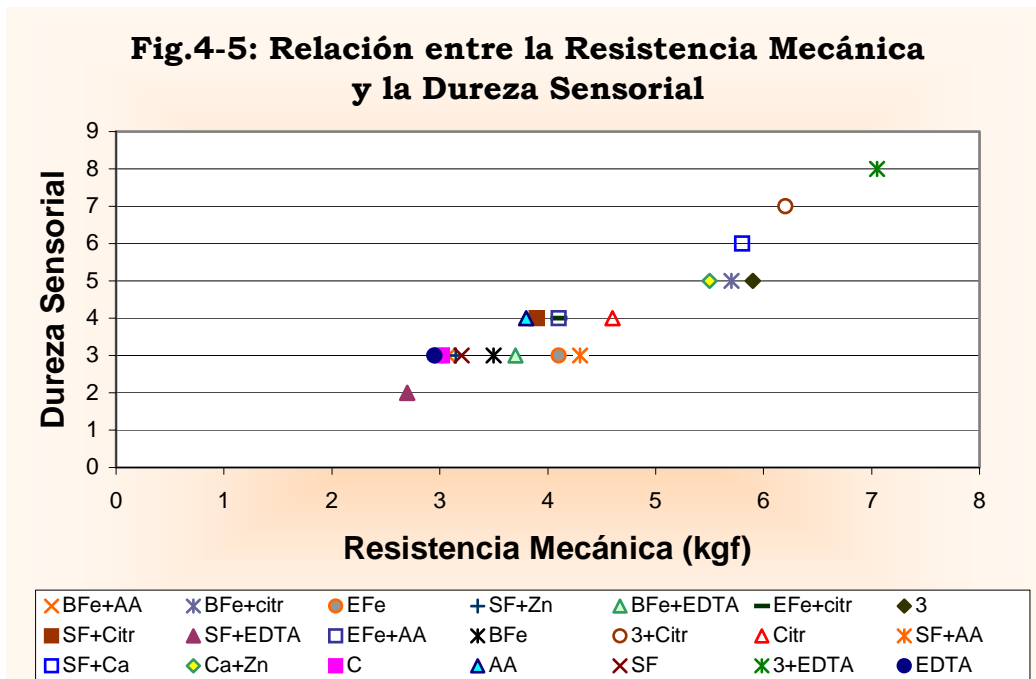
**4.1.4- EFECTO SOBRE LA RESISTENCIA MECÁNICA Y LA DUREZA SENSORIAL**

La Tabla 4.2.g muestra los resultados del ANOVA para la Resistencia Mecánica (kgf) evaluada con la máquina Instrom y la Figura 4-5 muestra la relación entre la Resistencia Mecánica y la Dureza Sensorial. Se observa una muy buena correlación entre ambas determinaciones, lo cual confirma que la metodología seleccionada es adecuada para establecer las diferencias entre las muestras. Cabe señalar que el puntaje otorgado a cada muestra se encuentra en el rango de los valores extremos (escala de 1 a 9), correspondientes a muestras expandidas obtenidas en ensayos previos, según se describe en el capítulo de Materiales y Métodos, siendo la más cocida, la más blanda (mezcla de maíz-soja -88:12- extrudida a 185°C con una humedad de 15%), a la que se le asignó el valor 1, mientras que la de menor grado de cocción fue la de valor 9, más dura (mezcla de maíz-soja -88:12- extrudida a 178°C con una humedad de 14%).

Por otra parte, debería realizarse una evaluación de aceptabilidad, para establecer el rango de dureza aceptable, incorporando además los demás ingredientes que integran la formulación de un “snack” (aceite, sal, etc.)

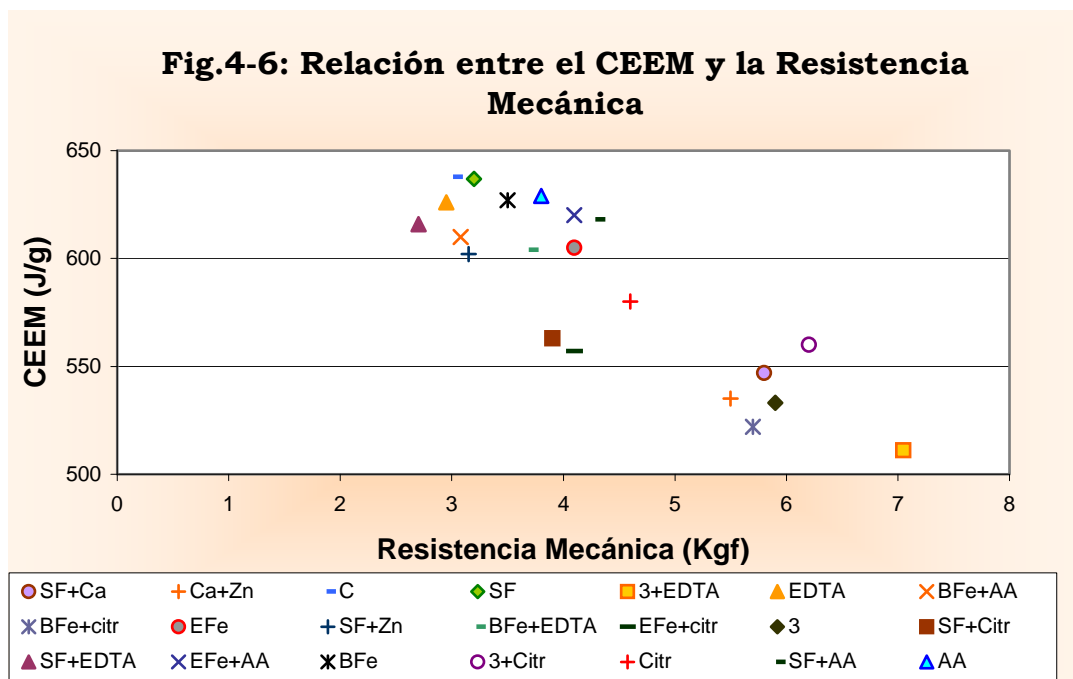
**Tabla 4-2.g:** Resultados de ANOVA para la Resistencia Mecánica (kgf). Las diferencias significativas se determinaron con Test de Duncan. (P<0,05)

Muestra	Media	Grupos Homogéneos
SF+EDTA	2,700	a
EDTA	2,950	a, b
C	3,025	a, b
BFe+AA	3,080	a, b
SF+Zn	3,150	b, c
SF	3,200	b, c
BFe	3,500	c, d
BFe+EDTA	3,700	d, e
AA	3,800	d, e
SF+Citr	3,900	d, e, f
EFe	4,100	e, f
EFe+Citr	4,105	e, f
EFe+AA	4,115	e, f
SF+AA	4,300	f, g
Citr	4,600	G
Zn+Ca	5,508	h
BFe+Citr	5,700	h
SF+Ca	5,800	h
3	5,900	h, i
3+Citr	6,200	i
3+EDTA	7,050	j



La Figura 4-6 muestra la relación inversa entre la Resistencia Mecánica y el CEEM, lo cual es esperable, ya que a mayor grado de cocción la muestra no sólo es más expandida, sino que también posee mayor volumen específico, y por lo tanto es menos dura.





**4-1.5- CONCLUSIONES ACERCA DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS**

La metodología seleccionada para evaluar las características del producto expandido y fortificado ha demostrado ser adecuada. No obstante, la composición de la muestra (fuente de mineral y promotores), afecta significativamente a las características del extrudido.

De todas las fuentes y promotores seleccionados, las muestras con agregado de Ca y de Citr fueron las que se diferenciaron del resto en cuanto a sus propiedades físicas.

Cuando se fortifica con Ca, dependiendo de la fuente empleada se pueden afectar las condiciones de transporte e impedir el arribo al estado estacionario (como es el caso del CaCl<sub>2</sub>). Con el CaCO<sub>3</sub>, el extrudido presenta menores valores de Exp y de Vol Esp, lo que podría implicar una menor aceptabilidad del producto.

Cuando se emplea citrato como promotor, los extrudidos presentan valores intermedios tanto para el CEEM y la Exp y valores bajos para el Vol Esp.

Como se demostró, las muestras que presentan un menor grado de cocción son aquellas que contienen Ca y/o Citr, por lo que son las más duras,

tanto para la dureza sensorial como para la resistencia mecánica determinada con la máquina Instrom.

## 4.2- PROPIEDADES NUTRICIONALES

---

## 4.2- EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES NUTRICIONALES

### 4.2.1- EVALUACIÓN DE LA COMPOSICIÓN

Como se ha mencionado en la sección Materiales y Métodos, las condiciones más adecuadas para la obtención de extrudidos, en base a la mezcla de maíz: soja, fueron determinadas en trabajos previos, con los cuales se pudo concluir que las mejores características, tanto fisicoquímicas como sensoriales, se obtuvieron para un 12% de reemplazo utilizando sémola de soja tratada térmicamente para inactivar la enzima lipooxigenasa.

En la Tabla 4.2.1, se muestra la composición centesimal de las materias primas y de la mezcla maíz: soja (88:12) extrudida.

**Tabla 4.2.1:** Composición centesimal en base seca, de las materias primas y de la mezcla extrudida maíz: soja (88:12).

Composición Centesimal (BS)	Maíz	Soja	Maíz:Soja (88:12)
Cenizas	0,24±0,07	5,15±0,06	0,85±0,05
Grasa (Soxhlet)	0,38±0,01	15,5±0,5	2,26±0,08
Proteínas (N x 6,25)	7,0±0,1	37,40±0,06	10,6±0,1
Fibra	-	-	0,63
Almidón	92,39±0,09	-	86,2

Los extrudidos obtenidos con esta mezcla poseen ventajas nutricionales, ya que el contenido y calidad de proteínas son superiores a los de un “snack” tradicional, debido a que el agregado de soja permite no sólo aumentar el nivel proteico (10 % frente a 7%), sino que también mejora el perfil de aminoácidos por el conocido efecto de complementación entre las proteínas de cereales y leguminosas, permitiendo aumentar el puntaje químico del maíz de aprox. 46% a 76,5 % (sin tener en cuenta la digestibilidad).

Por otra parte, la soja también aporta minerales, como se verá a continuación, por lo que el contenido de cenizas de la mezcla es mayor al que correspondería a un producto elaborado sólo a base de maíz.

### 4.2.2- EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE MINERALES Y SU DIALIZABILIDAD

En la tabla 4.2.2 se muestran los resultados del contenido total de hierro y su correspondiente porcentaje de dializabilidad, tanto para las materias primas como para la muestra extrudida (Control).

**Tabla 4.2.2:** Contenido de hierro y disponibilidad (%DFe) de las materia primas y de la mezcla maíz: soja (88:12) extrudida (Control).

<b>Muestras</b>	<b>ppm Fe</b>	<b>%DFe</b>
Sémola de maíz	11,2±0,8	0
Sémola de soja	48,0±0,2	2,18±0,08
Control	21,9±1,0	12,5±1,0

Se observa que el contenido de hierro de la harina de maíz es bastante bajo (11,2 ppm) sin aporte efectivo, mientras que el de la soja es aproximadamente 4 veces superior (48,0 ppm, con un aporte de apenas 2,62ppm). La incorporación de 12% de soja a la sémola de maíz incrementó el contenido de este mineral. Sin embargo, el valor alcanzado luego de la extrusión es superior al que resultaría de la simple mezcla de las materias primas. Este efecto ya ha sido observado por nuestro grupo de trabajo y por otros autores, es decir que la extrusión produce un incremento en el contenido de hierro (Ummadi y col.1995, Miller y col. 1981, Guy 2001), lo cual puede atribuirse al aporte provocado por el desgaste del cañón y/o cilindro durante la extrusión. Esto es posible debido a que, para las condiciones de extrusión de un expandido, los niveles de fricción son elevados (valores de CEEM mayores a 500 J/g).

Como se observa en la Tabla 4.2.2, la dializabilidad del hierro se ve notablemente favorecida tal como lo reporta Guy (2001), pasando de ser prácticamente nula para el maíz (el contenido de Fe en el dializado está por debajo de los niveles de detección) y reducida para la sémola de soja, hasta alcanzar el 12,5%, aumentando el aporte a 6,81ppm al reemplazar el 12% de maíz por soja. Los bajos valores de dializabilidad obtenidos para las materias primas posiblemente se deba a la presencia del inositol hexafosfato (fitato) en la sémola de soja, que es un fuerte inhibidor de la absorción del Fe (Davidsson y col. 2002) y en el caso del maíz, tanto al bajo contenido inicial de Fe como a la presencia de fitato residual ya que la sémola está descascarada. Al disminuir la concentración de fitatos de la soja por dilución con maíz en la mezcla y por efecto de la extrusión (Ummadi y col.1995, Guy 2001), la dializabilidad del hierro aumenta. Otro factor importante a tener en cuenta para explicar la mayor dializabilidad, es la desnaturalización de las proteínas durante el proceso de extrusión-cocción que afecta su solubilidad, pudiendo esto ejercer efectos variables en la dializabilidad del Fe, dependiendo de las condiciones del proceso (Ummadi y col. 1995).

En la tabla 4.2.3 se muestran los resultados obtenidos respecto al contenido total de zinc y calcio y su correspondiente porcentaje de dializabilidad,

tanto para las materias primas como para la muestra extrudida. Los contenidos de minerales reportados por la bibliografía varían dentro de cierto rango debido no sólo a la diferencia de la muestra empleada para el análisis, sino que también a que las mediciones pueden realizarse sobre harinas enteras o descascaradas y la mayoría no aclara cómo han sido obtenidas. Por ejemplo, Senser y Scherz (1999) reportaron valores de Ca de 180 mg/kg y Fe 24 mg/kg para harina de maíz y 1950 mg/kg de Ca y 120 mg/kg de Fe para harina entera de soja, respectivamente.

**Tabla 4.2.3:** Contenido de Zn, Ca, disponibilidad de Zn (%DZn) y de Ca (%DCa) de las materias primas y de la mezcla maíz: soja (88:12) extrudida (Control).

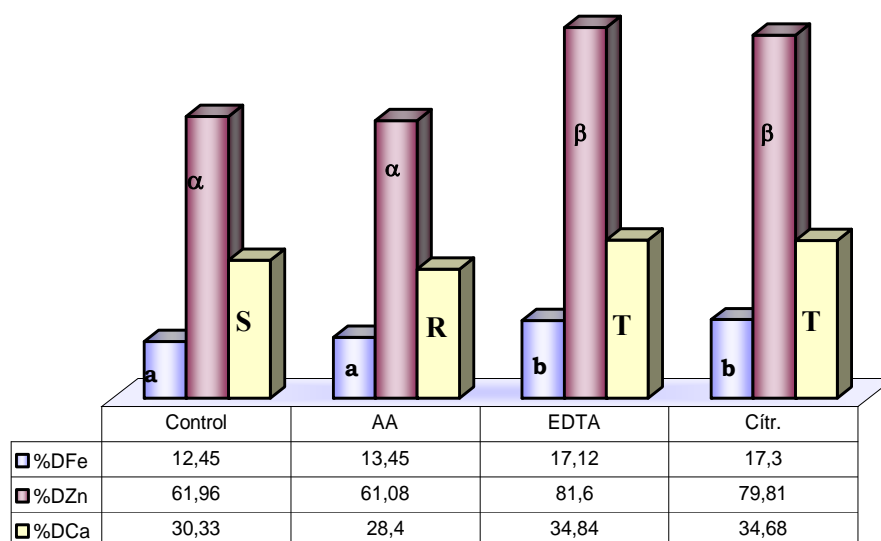
<b>Muestras</b>	<b>Ppm Zn</b>	<b>%DZn</b>	<b>Ppm Ca</b>	<b>%DCa</b>
Sémola de maíz	3,7±0,2	33,5±2,9	26±3	87±4
Sémola de soja	22,5±0,6	34,5±1,4	2130±40	20,8±1,1
Control	6,5±0,4	62,0±2,0	271±4	30,1±1,2

La DZn% de la mezcla extrudida es mayor que la de las materias primas. Al igual que lo que sucede con el Fe, el efecto de dilución de inhibidores, la posible disminución en el contenido de fitatos y la desnaturalización de proteínas durante la extrusión, podrían contribuir a este aumento en la dializabilidad. Sin embargo, este resultado difiere a lo observado en mezclas maíz: *Vigna unguiculata* (85:15) (Drago y col 2007), donde se emplearon otras condiciones de extrusión, apropiadas a la materia prima usada. Como se mencionó en la introducción, la degradación del fitato a formas menores de inositol fosfato (tetra, tri o di- fosfatos) por la extrusión depende de las condiciones del proceso utilizados y no sigue un patrón definido (Ummadi y col. 1995).

En el caso de la DCa%, aunque la dializabilidad de la harina de maíz es muy alta, el contenido de este mineral es muy bajo. El agregado de soja permite incrementar el contenido de Ca de la mezcla, obteniéndose una disponibilidad aceptable.

#### **4.2.3- EFECTO DEL AGREGADO DE PROMOTORES DE LA ABSORCIÓN EN LA DIALIZABILIDAD DE MINERALES**

En la Figura 4.2.1, se puede observar que el agregado de EDTA o Citr, aumentó las dializabilidades del Fe, del Zn y del Ca endógenos, con respecto al control. No sucedió lo mismo cuando se empleó ácido ascórbico como promotor.



**Fig.4.2.1:** Disponibilidad de minejrales (%DFe, %DZn y %DCa) de las muestras con agregado de distintos promotores. Letras diferentes implican diferencias significativas entre muestras ( $P < 0,05$ )

El EDTA es un quelante que se combina estequiométricamente con el Fe, formando complejos más estables con el  $Fe^{3+}$  que con el  $Fe^{2+}$ , lo que favorece la absorción, por lo que su empleo como promotor promete ser una estrategia efectiva (Nayak y Nair 2003). Probablemente el citrato actúe formando complejos solubles que faciliten la diálisis del Fe, del Zn y del Ca. Otros investigadores (Miller y Berner 1989) sugieren que el Citrato y el EDTA son aniones fuertemente complejantes y compiten por los cationes con otros productos de la digestión que tienden a insolubilizarlos a nivel de duodeno, mejorando su disponibilidad.

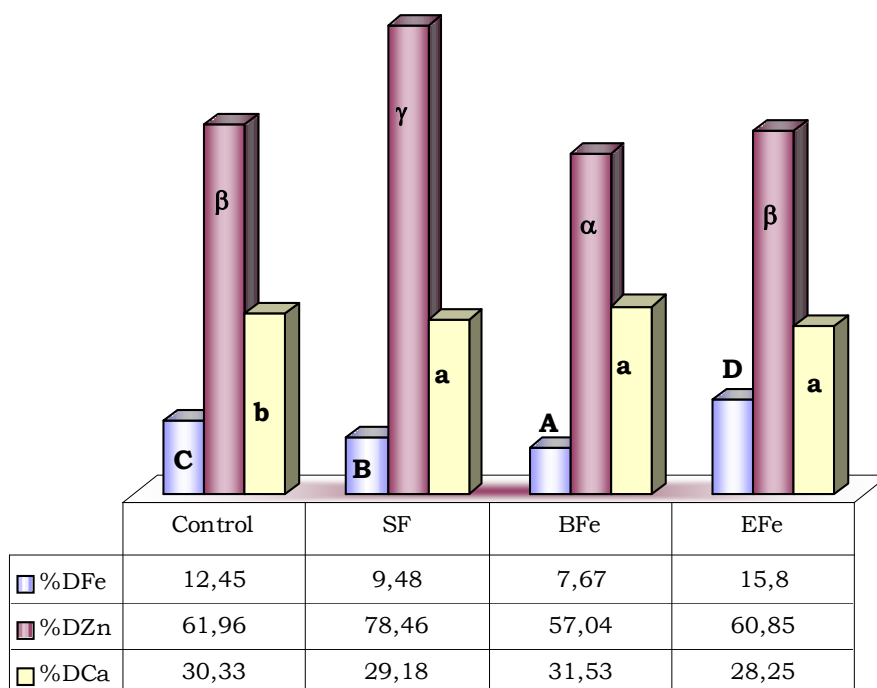
Si bien no se observaron diferencias significativas en la dializabilidad de los minerales al usar Citr o EDTA, cuando se realizaron las evaluaciones sensoriales, se percibió un suave sabor a ácido cítrico en las muestras con Citr. No obstante, y aun cuando no se realizó un estudio de aceptabilidad de estas muestras, se estima que este efecto será desapercibido con el agregado de sal, aceite y saborizantes, correspondientes a la formulación final de un producto comercial.

Con respecto al AA, los resultados obtenidos en el presente trabajo como promotor de la disponibilidad del Fe, difieren a los informados por otros autores (Clydesdale y Nadeau 1985, Gorman y Clydesdale 1983, Wolfgor y col 1996). Debe tenerse en cuenta que en ningún caso ellos someten al alimento a un tratamiento térmico con características similares a las de la extrusión (HTST). El AA es un compuesto termolábil y probablemente se degrada durante el proceso

de extrusión. Por otro lado, Siegenberg y col. (1991) sugieren que el ácido ascórbico previene el efecto inhibitorio de los fitatos cuando es administrado en cierta dosis (30 mg AA vs. 10-58 mg de P de fitatos), por lo que sería interesante medir el contenido de fitatos y AA residuales en estas muestras para determinar si efectivamente es el nivel de AA lo que está relacionado con su falta de efecto.

#### 4.2.4- EFECTO DE LA FUENTE DE HIERRO EN LA DISPONIBILIDAD DE MINERALES DE “SNACKS” DE MAÍZ-SOJA

En la Figura 4.2.2 se presenta la dializabilidad de los minerales de los extrudidos elaborados con las distintas fuentes de hierro seleccionadas para esta tesis: sulfato ferroso (SF), bisglicinato ferroso (BFe) y NaFeEDTA (EFe).



**Figura 4.2.2:** Disponibilidad de minerales (%DFe, %DZn y %DCa) para diferentes fuentes de fortificación. Letras diferentes implican diferencias significativas entre muestras (P<0,05)

Se observó que la %DFe de las muestras fortificadas con SF y BFe fue menor que la del control y que la DFe% del BFe es menor que la del SF. Este último hecho difiere de lo informado por otros investigadores que sostienen que el BFe tiene una mejor biodisponibilidad que el sulfato ferroso, especialmente en alimentos que contienen inhibidores de la absorción del hierro no hemínico (Olivares y col 1997, Bovell-Benjamin y col 2000, Layrisse y col 2000, Pizarro y col. 2002).



El sulfato ferroso es la fuente de fortificación de referencia (Hallberg y Rossander 1984). Sin embargo, es propenso a causar cambios organolépticos en los alimentos en los cuales se lo emplea (Pizarro y col. 2002, Wolfgor y col 1996) y susceptible al efecto inhibitorio de las matrices alimentarias (Hallbreg y Rossander 1984). Por otro lado, es conocido que a pH 2 (pH del estómago) el hierro proveniente, ya sea del SF, BFe o EFe se encuentra completamente ionizado. Cuando el pH se incrementa a 6 (pH próximo al del duodeno), el hierro del BFe y del EFe permanecen solubles mientras que la solubilidad del hierro proveniente del SF disminuye un 64%, comparado con la cantidad de hierro soluble a pH 2, demostrando así, que la solubilidad del hierro proveniente del BFe y del EFe no es afectada por los cambios de pH fisiológicos, probablemente debido a que el hierro permanece asociado a los respectivos compuestos (García-Casal y Layrisse 2001) favoreciendo su disponibilidad.

Por su parte Bovell-Benjamin y col (2000) y Pizarro y col. (2002), sugieren que el hierro del bisglicinato ferroso, se absorbe de manera similar al  $\text{FeSO}_4$  y se ioniza en el medio ácido del estómago, liberando los cationes de hierro (como  $\text{Fe}^{2+}$ ), que luego se absorben en el duodeno siguiendo la vía de absorción del hierro no hemínico y queda, al igual que el  $\text{FeSO}_4$ , sujeto a la acción de inhibidores.

Sin embargo, en este estudio, la %DFe del BFe resultó ligeramente menor que la del SF, lo que podría deberse a una interacción del Fe aminoquelado con la matriz alimentaria durante los procesos de alta temperatura y presión que tiene lugar durante la extrusión.

El valor más alto de %DFe se obtuvo con la muestra fortificada con EFe, lo que posiblemente se deba a la capacidad complejante del EDTA que permite disminuir el efecto de los inhibidores intrínsecos de los cereales (Bothwell y McPhail 2004, García-Casal y Layrisse 2001). El EFe es lo que se denomina “*compuesto de hierro protegido*” (como lo es la hemoglobina).

Tal como se esperaba el mayor aporte fue cuando se empleó el EFe como fuente de fortificación (16,24 ppm) mientras que para el SFe fue de 9,66ppm y de 6,81ppm para el control El BFe mostró un aporte menor aún que el del control (5,93ppm).

Otro factor importante a tener en cuenta, es que su empleo no produjo cambios organolépticos en los extrudidos, coincidiendo con lo expuesto por

Davidsson y col (2002), quienes sugieren que existe evidencia sustentable que avala el uso del EFe para fortificar cereales. El empleo del EFe en los programas de fortificación es muy reciente y escaso, debido a que recién en 1999, el Comité de Expertos en Aditivos Alimentarios de la FAO/WHO, lo declararon de uso seguro para la salud humana y puede ser usado en programas de fortificación supervisados proveyendo de aproximadamente 2 (mg de Fe/kg de peso corporal/día) (JECFA 1999).

La %DZn se ve afectada al emplear las distintas fuentes de fortificación. Así, cuando se emplea SF, se obtiene el máximo valor de dializabilidad (78,46%). Podría suponerse que el hierro iónico en exceso en relación al zinc, en el caso del SF, lo libera de posibles interacciones con compuestos inhibidores.

Al fortificar con EFe, no se observó el efecto promotor del EDTA en la disponibilidad del Zn, como se ha observado en otras matrices alimentarias, tales como leche y yogur (Drago y Valencia 2008), o en bollitos de pan (Hurrell 1997, Davidsson y col. 1994).

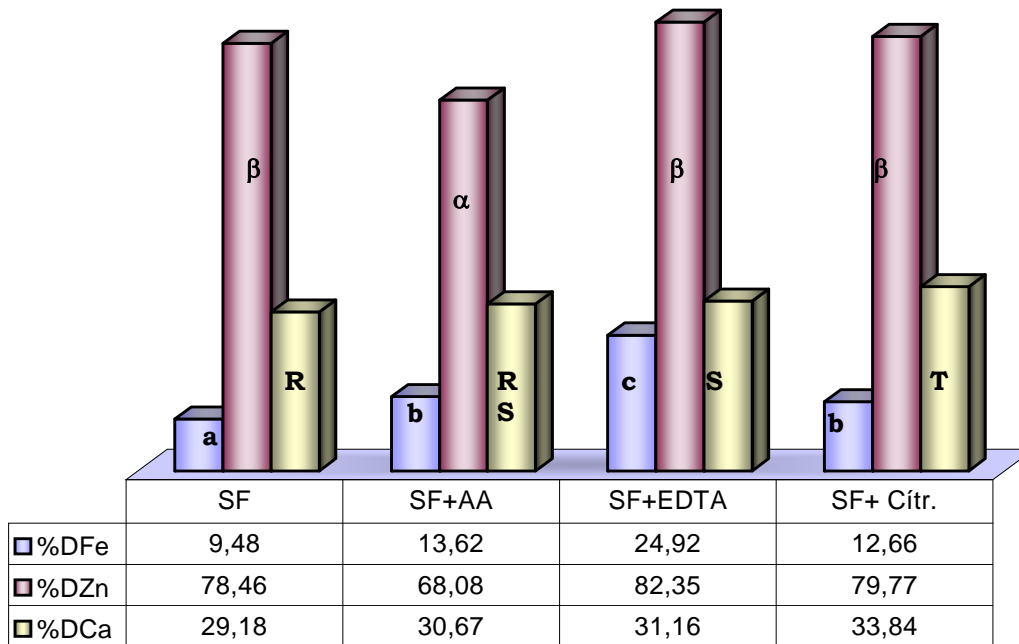
La %DCa fue prácticamente la misma ( $P= 0,17$ ) independientemente de la fuente de hierro empleada.

Davidsson y col 2002, Walter y col 2003 sugieren que el EFe, es una buena alternativa para la reemplazar al sulfato ferroso, ya que tiene una baja interacción con la matriz alimentaria, lo que disminuye la posibilidad del “enranciamiento” de las grasas en los cereales fortificados, situación sumamente ventajosa desde el punto de vista tecnológico. Sin embargo, no hay que descartar su interacción con algunos otros componentes presentes en alimentos (como cereales con extracto de banana, o alimentos a base de cacao, etc), donde podría provocar inaceptables alteraciones sensoriales (Hurrell 1997).

#### **4.2.5- INFLUENCIA DE DIVERSOS PROMOTORES EN LA DISPONIBILIDAD DE FE, CA Y ZN DE “SNACKS” DE MAÍZ-SOJA FORTIFICADOS CON DISTINTAS FUENTES DE HIERRO**

Los resultados de la fortificación con SF y sus respectivos promotores, se muestran en la Figura 4.2.3. En ella podemos observar que el uso de los promotores, en todos los casos aumentó %DFe, siendo la más importante la obtenida cuando se empleó EDTA (2,6 veces respecto a la muestra sin promotores). El ácido ascórbico y el cítrico promovieron la %DFe pero su efecto

fue menor que el del EDTA. Estos resultados coinciden con lo reportado por Walter y col (2003), quienes realizaron ensayos en humanos que consumieron tortillas de maíz fortificadas con fumarato ferroso, sulfato ferroso, bisglicinato ferroso con y sin el agregado de EDTA. Ellos y observaron que el EDTA mejoró la biodisponibilidad del hierro de las muestras fortificadas con las tres fuentes.



**Figura 4.2.3:** Disponibilidad de minerales (%DFe, %DZn y %DCa) de las muestras fortificada con FeSO<sub>4</sub> (SF) con y sin la adición de promotores. Letras diferentes implican diferencias significativas entre muestras (P<0,05)

La ya elevada %DZn no mejoró por el agregado de los promotores (EDTA y Cítr) o disminuyó en el caso del AA. Sin embargo, Hurrell y col (1994) observaron en estudios en ratas, que el agregado de EDTA incrementó la biodisponibilidad del Zn de dietas a base de aislado de soja.

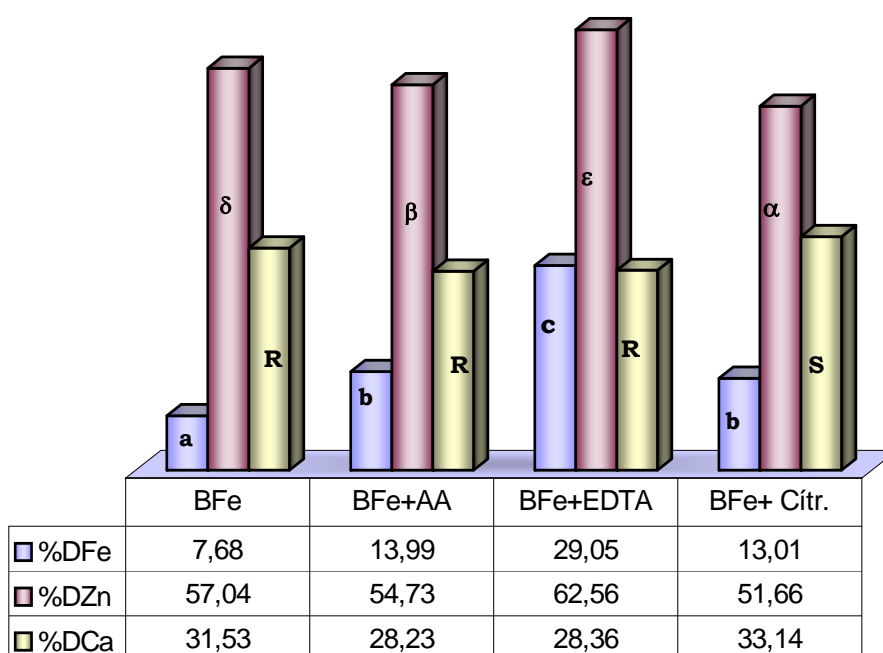
Tanto el empleo de cítrico como de EDTA aumentaron ligeramente la %DCa.

Podemos decir que cuando se emplea sulfato ferroso como fuente de fortificación, el mejor promotor resultó ser el EDTA, seguido por el Citrato, debido a que no sólo favorecieron la disponibilidad del Fe, sino también la del Ca.

En la Figura 4.2.4, se muestran los resultados obtenidos cuando se emplea el bisglicinato ferroso (BFe), con y sin el agregado de promotores de la absorción de los minerales de interés.

Con respecto a la %DFe, para esta fuente de fortificación el mejor promotor resultó ser el EDTA, aunque el AA y el Citr también mostraron un efecto promotor. El resultado obtenido para el hierro, es coincidente con el informado por Walter y col (2003) citados anteriormente, respecto a que el EDTA aumenta la biodisponibilidad del BFe.

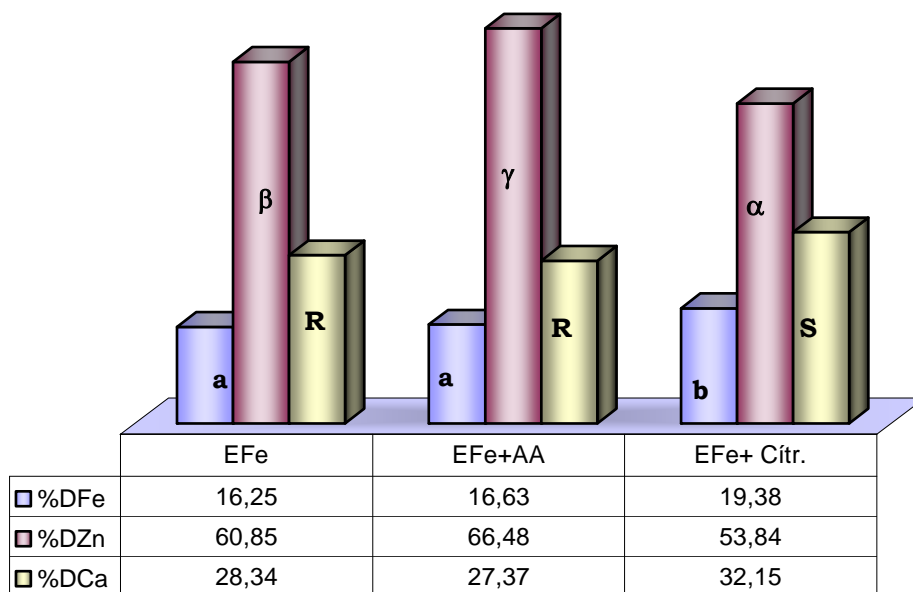
Con respecto al efecto de los promotores al usar esta fuente de hierro, se observó que el EDTA promovió la %DZn pero el Citr y el AA fueron desfavorables y que sólo el Citr incrementó la DCa%.



**Figura 4.2.4:** Disponibilidad de minerales (%DFe, %DZn y %DCa) de las muestras fortificadas con bisglicinato ferroso (BFe), con y sin la adición de promotores. Letras diferentes implican diferencias significativas entre muestras ( $P < 0,05$ ).

En la Fig 4.2.4 se observa el efecto de los promotores, AA y Citr., cuando la fuente de fortificación empleada fue el EFe. En ella ve que el AA, no modificó la DFe% ni del Ca, pero mostró la mejor dializabilidad para el Zn. El Citr por su parte, aumentó la dializabilidad del Fe y del Ca, pero disminuyó la %DZn, aún por debajo de la obtenida en ausencia de cualquier promotor, la que se vio aumentada en presencia del AA.

Estos resultados ponen de manifiesto que dependiendo de la fuente de hierro, calcio o zinc que se utilice en la fortificación, se deberán seleccionar los promotores adecuados, o incluso no utilizar ninguno.



**Figura 4.2.5:** Disponibilidad de minerales (%DFe, %DZn y %DCa) de la muestra fortificada con EDTA sódico férrico (EFe) con y sin la adición de promotores. Letras diferentes implican diferencias significativas entre muestras.

#### 4.2.6- DISPONIBILIDAD DE FE, CA Y ZN DE MUESTRAS MULTIFORTIFICADAS

En la Figura 4.2.5 se observan los resultados obtenidos de los estudios sobre la disponibilidad de los minerales de los extrudidos de maíz: soja fortificados con SF como fuente de hierro y agregando además Zn y/o Ca, con y sin la adición de promotores. Los promotores empleados fueron seleccionados en base a los resultados obtenidos en las experiencias anteriores, por lo que se descartó el uso de AA.

El agregado de Zn, en presencia de SF (SF vs. SF+Zn) no afectó la DFe%, pero la adición de Ca la disminuyó notoriamente (SF vs. SF+Ca). Este efecto fue mayor aún cuando se agregó Zn (SF vs. 3: combinación de las tres fuentes: FeSO<sub>4</sub>, ZnSO<sub>4</sub> y CaCO<sub>3</sub>). El agregado simultáneo de Zn y Ca, altera la altera la DFe% (hierro endógeno), aún en ausencia de fortificación con SF (Control vs. Zn+Ca).

El empleo de promotores como Cítr y EDTA para las muestras multifortificadas con Fe, Zn y Ca fue muy favorable, siendo éste último, el EDTA, el que presentó mejores resultados.

En presencia de SF la disponibilidad del Zn endógeno es muy alta e inclusive mayor que la del control, pero al agregar CaCO<sub>3</sub> (SF+Ca) disminuye

notablemente y es menor aún cuando se agrega Zn como  $ZnSO_4$  (SF vs. SF+Zn) que cualquiera de las muestras con Zn endógeno. Probablemente el Zn agregado interacciona con la matriz alimentaria formando complejos incapaces de dializarse por su insolubilidad o tamaño molecular. Por su parte, el agregado de Ca en presencia o no de SF ocasiona una disminución importante en la DZ% (Zn+Ca y 3). Esta disminución se puede deber a la formación de complejos entre el calcio, el zinc y los fitatos, que son insolubles y no pueden dializarse, como tampoco ser absorbidos (Wise 1995, O'Dell 1989).

El agregado de promotores (Citr. o EDTA) a las muestras multifortificadas con Fe, Zn y Ca mejora la disponibilidad de Zn, aunque el nivel alcanzado es significativamente inferior a los correspondientes al control y a la muestra con sólo SF agregado.

Estos resultados indican que el Ca interacciona tanto con el Fe como con el Zn, tanto endógenos como de fortificación.

La técnica utilizada para determinar la disponibilidad es una metodología *in vitro*, esto implica que la inhibición por interacción fisicoquímica con estos minerales juega un importante rol en la inhibición de la absorción *in vivo*, más allá de que hayan sido demostrados en el caso del Fe una inhibición a nivel de mucosa (Hallberg y col 1991, 1992).

En presencia de SF la disponibilidad del Ca endógeno es alta e igual al control, incluso el agregado de Zn resulta beneficioso para su diálisis (Control vs. SF+Zn). Sin embargo, el Ca agregado como  $CaCO_3$  presenta menor disponibilidad (SF vs. SF+Ca). Algo similar sucede con el agregado de Ca en ausencia de SF y presencia de Zn (Zn+Ca). El Ca agregado, al igual que el Zn, interacciona con la matriz alimentaria formando complejos incapaces de dializarse como consecuencia de su insolubilidad o de su tamaño molecular.

La mayor disponibilidad del Ca, se observa con el agregado de los tres minerales SF+Zn+Ca (muestra 3 vs SF+Ca vs Zn+Ca). Esto sugiere que los otros minerales (Zn y Fe) son ligeramente más afines por los ligandos inhibidores, compiten por la unión con ellos y en consecuencia las condiciones para la dializabilidad del Ca son más favorables. El agregado de Citr, es una buena opción en el caso de un producto multifortificado con Fe, Zn y Ca, debido a que mejora la disponibilidad de Ca y de Zn, pero el empleo de EDTA con el mismo fin es una

mejor opción, ya que también favorece la dializabilidad del Fe. Sin embargo, en ninguno de los dos casos antes mencionados, se alcanzan los niveles de dializabilidad para el Fe, el Zn y el Ca, obtenidos para la muestra con SF+EDTA.

#### **4.2.7- CONCLUSIONES DE LA EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES NUTRICIONALES**

El agregado de sémola de soja a la sémola de maíz (al 12% de reemplazo) no sólo permitió mejorar significativamente el valor proteico (contenido y calidad de proteínas) sin deteriorar los atributos sensoriales del expandido, sino que además mejoró el aporte de hierro y zinc (mayor cantidad y mejor disponibilidad) y de calcio (mayor aporte) de este tipo de productos. Así mismo, elevó el aporte de hierro no hemínico de las fuentes desde 0 y 2,62 ppm para el maíz y la soja respectivamente, a 6,81 para el control. Esto es seis veces respecto al maíz solo y 3 veces respecto a la soja sola.

El empleo de promotores, tales como el citrato o el EDTA puede resultar una estrategia adecuada para incrementar el aporte de minerales intrínsecos (Fe, Zn y Ca) de estos productos sin fortificar.

De las 3 fuentes de fortificación evaluadas, el NaFeEDTA presentó la mayor disponibilidad de hierro (16%), frente al sulfato ferroso (10%) y al bisglicinato ferroso (7,7%). Su empleo no afectó la disponibilidad de Zn y Ca endógenos. Sin embargo, la muestra fortificada con SF presentó mejor disponibilidad de Zn. Este hecho, conjuntamente con el elevado costo del EF, hace que el SF sea el más apropiado para fortificar este tipo de productos.

Si bien el aporte de hierro no hemínico ya se ve favorecido con el 12% de reemplazo de maíz por soja, tal como se expresa previamente, el empleo de estas fuentes de fortificación mejoraron aún más estos aportes, excepto para el BFe (5,93ppm), para el que se obtuvo un valor aún menor que el del control (6,81ppm).

El BFe, por su parte, no presentó ventaja alguna frente a las otras fuentes evaluadas.

Cuando se empleó sulfato ferroso como fuente de fortificación, el mejor promotor resultó ser el EDTA, debido a que no sólo favoreció la disponibilidad del Fe, sino también la del Ca. Por su parte, cuando se empleó BFe, el EDTA resultó

el mejor promotor de la DFe%, favoreciendo también la del Zn, pero al usar EFe, la adición de AA o Citr no presentaron ninguna ventaja.

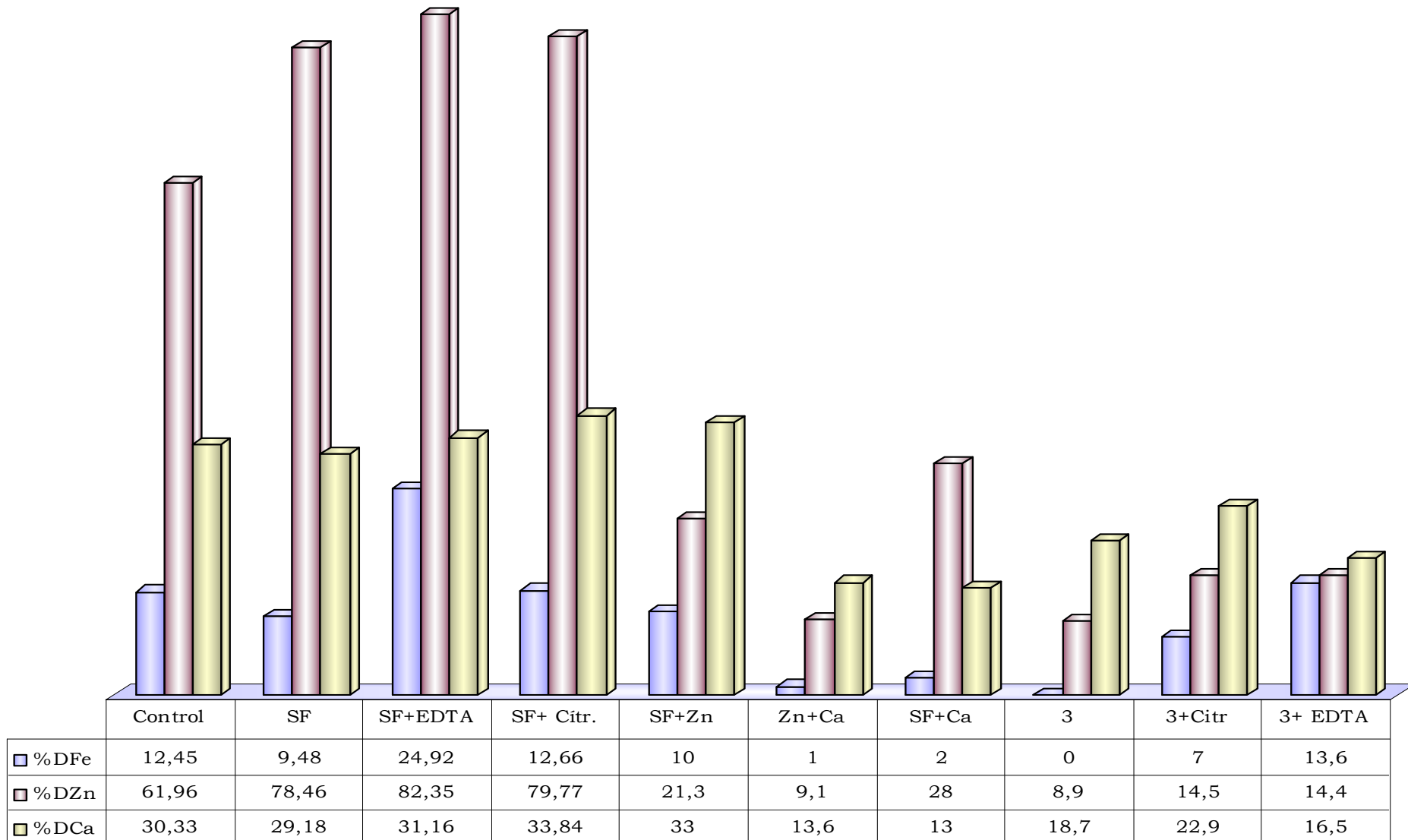
El AA no resultó un buen promotor para este tipo de matrices y proceso.

Se demostraron interacciones entre las fuentes de minerales: el empleo de Ca como fortificante, alteró la disponibilidad del Zn y más significativamente a la del Fe y este efecto negativo fue mayor en presencia de Zn y Ca, a tal nivel que la %DFe fue nula (por debajo del límite de detección de método de análisis empleado).

El uso de EDTA como promotor mejoró la disponibilidad de minerales en los productos multifortificados.

Al formular un producto multifortificado es muy importante evaluar las interacciones de los diferentes minerales entre sí y seleccionar la combinación de fuentes y promotores más adecuada para la matriz y el proceso implicados en la elaboración del producto.





**Figura 4.2.5:** Disponibilidad de minerales (%DFe, %DZn y %DCa) de las muestras multifortificadas con y sin la adición de promotores y sus controles. Letras diferentes implican diferencias significativas entre muestra

# 5-Conclusiones Finales

---

## 5- CONCLUSIONES FINALES

Aunque la composición de la muestra (fuente de mineral y promotores), afecta significativamente a las características del extrudido, la metodología seleccionada para evaluar las características del producto expandido y fortificado ha demostrado ser adecuada.

El agregado de sémola de soja a la sémola de maíz (al 12% de reemplazo) no sólo permitió mejorar significativamente el valor proteico (contenido y calidad de proteínas) sin deteriorar los atributos sensoriales del expandido, sino que además mejoró el aporte de hierro y zinc (mayor cantidad y mejor disponibilidad) y de calcio (mayor aporte).

Los resultados obtenidos en la presente tesis ponen de manifiesto que, si bien la disponibilidad de las fuentes de fortificación es inferior a la del respectivo mineral endógeno, el aporte final del producto resulta mayor. Esto está relacionado con la fuente de hierro que se utilice en la fortificación y el empleo o no de promotores, según convenga.

De todas las fuentes y promotores seleccionados, las muestras con agregado de Ca y de Citr fueron las que se diferenciaron del resto, en cuanto a sus propiedades físicas. Cuando se fortifica con Ca, dependiendo de la fuente empleada se pueden afectar las condiciones de transporte en el extrusor e impedir el arribo al estado estacionario (como es el caso del  $\text{CaCl}_2$ ). Con el  $\text{CaCO}_3$ , el extrudido presenta menores valores de Exp y de Vol Esp, lo que podría resultar en una menor aceptabilidad del producto. Cuando se emplea citrato como promotor, los extrudidos presentaron valores intermedios, para el CEEM y la Exp y valores bajos para el Vol Esp.

Como se demostró, las muestras que presentan un menor grado de cocción son aquellas que contienen Ca y/o Citr, por lo que son las más duras, tanto para la dureza sensorial como para la resistencia mecánica determinada con la máquina Instrom.

Por su parte, el empleo de EDTA puede resultar una estrategia adecuada para incrementar el aporte de minerales intrínsecos (Fe, Zn y Ca) de estos productos sin fortificar, ya que el uso del citrato produjo un deterioro de las propiedades sensoriales.

De las 3 fuentes de fortificación evaluadas, el NaFeEDTA presentó la mayor disponibilidad de hierro, sin afectar la disponibilidad de Zn y Ca endógenos. Sin embargo, la muestra fortificada con SF presentó mejor disponibilidad de Zn. Este hecho, conjuntamente con el elevado costo del EF, hace que el SF sea más apropiado para este tipo de productos.

Cuando se emplea sulfato ferroso como fuente de fortificación, el mejor promotor resultó ser el EDTA, debido a que no sólo favoreció la disponibilidad del Fe, sino también la del Ca.

Así mismo, elevó el aporte de hierro no hemínico de las fuentes desde 0 y 2,62 ppm para el maíz y la soja respectivamente, a 6,81 para el control. Esto es seis veces respecto al maíz solo y 3 veces respecto a la soja sola.

El empleo de las fuentes de fortificación mejoró aún más estos aportes, excepto para el BFe (5,93ppm), para el que se obtuvo un valor aún menor que el del control (6,81ppm).

Al formular un producto multifortificado es muy importante evaluar las interacciones de los diferentes minerales entre sí y seleccionar la combinación de fuentes y promotores más adecuada para la matriz y el proceso de elaboración del producto.

El calcio es un mineral esencial cuyo requerimiento diario expresado en términos de masa es varias veces superior que los requerimientos de hierro y zinc, por lo que el mismo puede interferir en la absorción de estos micronutrientes. Por esta razón, la fortificación conjunta de calcio, hierro y zinc no sería deseable de realizar en un mismo alimento, siendo mucho más ventajoso seleccionar diferentes alimentos a los cuales se los pueda fortificar con aquellos micronutrientes que posean baja o nula interferencia entre sí.

Al respecto se demostró que el empleo de Ca como fortificante, alteró la disponibilidad del Fe y del Zn y que su efecto negativo fue mayor en presencia de Zn en estos expandidos a base de maíz. Además, el uso de EDTA como promotor mejoró la disponibilidad de dichos minerales en los productos multifortificados.

Cada micronutriente posee sus propias peculiaridades químicas y tecnológicas que deberán ser cuidadosamente consideradas en el momento de planificar la estrategia de fortificación. También es importante considerar los desafíos tecnológicos que acarrea la fortificación industrial con más de un micronutriente, ya que los efectos negativos que podrían causar sobre las

características sensoriales de los alimentos fortificados se pueden potenciar haciendo muy dificultosa la fortificación de los mismos.

# Bibliografía

---

---

## 5- BIBLIOGRAFÍA

- AACC-American Association of Cereal Chemist (1994)** Approved Methods. *St. Paul Minnesota.*
- Abrams SA, Wen H, and Stuff JE (1996)** Absorption of calcium, zinc and iron from breast milk by five-to seven-month-old infants. *Pediatr Res.* 39 (3): 384-390.
- ALAN. Archivos. Latinoamericanos de Nutrición (1994).** La alimentación del niño menor de 6 años en América Latina: Bases para el desarrollo de guías de la alimentación. *Informe de la reunión taller realizado en la Isla Margarita, 15-20 de marzo 44: 176-198.*
- AID-USA (Agency for International Development) (2000).** Proceedings: midcourse 2000 researchers meeting of the bean/cowpea collaborative research support program. *Bean/Cowpea CRSP 2000 Center for International Programs Michigan State University, USA. April 9-14.*
- Alnwick D (1998)** Combating micronutrient deficiencies: Problems and perspectives. *Proc. Nutr. Soc.* 1998; 57:137-147.
- Anderson RA, Conway HF, Pfeiffer VF and Griffin EL (1969)** Gelatinization of corn grits by roll and extrusion-cooking. *Rev. Agrop. y Tec de Alim.* 26 (4):552-564.
- Andraca I, Castillo M, Walter T (1997).** Desarrollo psicomotor y conducta en lactantes anémicos por deficiencia de hierro. Deficiencia de hierro. *Boletín CESNI. Buenos Aires. Argentina, 107-117.*
- Andrews N (1999)** Disorders of iron metabolism.(Medical Progress) *The New England Journal of Medicine* 341 (26):1986-1995.
- AOAC- Official Methods of Analysis (1990)** 15<sup>th</sup> Ed Washington D.C.
- Aparna Oltikar MD (2001)** [URAC: www.urac.com](http://www.urac.com) visitada el 2/13/2004. Department of Community Medicine, University of Connecticut School of Medicine, Farmington, CT. *Review provided by VeriMed Healthcare Network. A.D.A.M., Inc. acreditada por la Comisión Norteamericana de Certificación de la Atención Médica (American Accreditation Health Care Commission).*
- Ariza (1992)** Nutrición y calidad de vida, un binomio inseparable. *Arch. Latinoamer. Nutr.* 42(2),7-10.
- Basta S, Soekirman D, Karyadi D, Scrimshaw N (1979)** Iron deficiency anemia and the productivity of adult males in Indonesia. *Am. J. Clin. Nutr.;* 32:916-925.
- Batterman-Azcona SJ and Hamaker BR (1998).** Changes occurring in protein body structure and  $\alpha$  zein during corn flake processing. *Cereal Chemistry.* 75:217-221.

- Benito P and Miller DD (1998)** Iron Absorption and bioavailability: and updated review. *Nutr Res.* 18 (3): 581-603.
- Biliaderis C (1991)** The structure and modification of starch with food constituent. *Can. J. Physiol. Pharmacol.*, 69: 60-78 .
- Bothwel TH and MacPhail AP (2004)** The Potential Role of NaFeEDTA as an Iron Fortificant. *Internat. J Vitamin and Nutr. Res.* 74:421-434.
- Bovell-Benjamin AC, Viteri FE and Allen LH (2000)** Iron absorption from ferrous bisglycinate and ferric trisglycinate in whole maize is regulated by iron status. *Am. J Clin Nutr.* 71,1563-1569.
- Brown RC, Klein A, Simmons W, Hurrell R. (1990)** The Influence of Jamaican herb teas and other polyphenol-containing beverages on iron absorption in the rat. *Nutr Res.* 10: 343-53.
- Ceriani Cernadas JM, Jajam RO, Lomuto C, Morasso MC, Schwarcz R, Viteri FE (2001)** Resumen realizado por el Dr. VALLOTE F, Fundación LACMAT, a partir de la *Publicación conjunta de UNICEF Argentina, Ministerio de Salud de la Nación y Ministerio de Salud de la provincia del Chaco - Septiembre de 2001. Coordinación: MORASSO, MC.*
- Clydesdale FM (1983)** Physicochemical determinants of iron bioavailability. *Food. Food Tech.* 37 (10): 133-138.
- Clydesdale FM and Nadeau DB (1985)** Effect of acid pretreatment on the stability of ascorbic acid complexes with various iron sources in a wheat flake cereal. *J. Food Sci.* 50: 1342-1347.
- Colonna P, Buleon A and Mercier C (1987)** Physically modified starches. *En: Starch: Properties and Potential. Ed. Galliard T. John Wiley & Sons, New York, Cap 4.*
- Cousins R, Hempe J. (1990)** Zinc. Present knowledge in nutrition. Sixth edition. International Life Sciences Institute. ILSI. North America.
- Coyle P, Philcox JC, and Rofe AM (1998)** Zinc in man. *Clin. Biochem. Rev.* 19:107-112.
- Cheftel JC, Cuq JL and Lorient D (1989)** Propiedades nutricionales de las proteínas. *En: Proteínas alimentarias. Ed. Acribia S.A. 5:107-139.*
- Chen J, Serafin FL, Pandya RN and Daun H (1991)** Effects of extrusion conditions on sensory properties of corn meal extrudates. *J Food Sci.* 56 (1), 84-89.
- Dallman P (1990)** Iron. Present knowledge in nutrition. *Sixth edition. International Life Sciences Institute. ILSI. North America.*



- Davidsson L, Dimitriou T, Boy E, Walczyk T and Hurrell R F (2002)** Iron bioavailability from iron-fortified Guatemalan meals based on corn tortillas and black bean paste. *Am. J. Clin. Nutr.* 75:535-9.
- Davidsson L; Kastenmayer P and Hurrell RF (1994)** Sodium iron EDTA [NaFe(III)EDTA] as a food fortificant: the effects on the absorption and retention of zinc and calcium in women. *Am J Clin Nutr.* 60: 231-237.
- Dominguez R, Barreiro T, Sousa E, Bermejo A, Cocho JA, Fraga JM, Bermejo P (2004)** Study of the effect of different iron salts used to fortify infant formulas on the bioavailability of trace elements using ICP-OES. *International Dairy Journal* 14 1081-1087.
- Donato H, Rosso A, Buys C, Rossi N, Rapetti C y Matus M (2001)** Anemia ferropénica. Normas de diagnóstico y tratamiento. *Comité Nacional de Hematología Arch. Argent. Pediatr;* 99 (2), 162-167.
- Drago SR and Valencia ME (2008)** Mineral dialyzability in milk and fermented dairy products fortified with FeNaEDTA. (*en prensa J Agric. Food Chem.*).
- Drago SR, González RJ, Chel-Guerrero L y Valencia ME (2007)** Evaluación de la Disponibilidad de Minerales en Harinas de Frijol y en Mezclas de Maíz/Frijol Extrudidas. *Rev. Inform. Tecnológica,* 18 (1): 41-46.
- Drago SR, Binaghi MJ, Valencia ME (2005)** Effect of gastric digestion pH on iron, zinc and calcium availability from preterm and term starting infant formulas. *J Food Sci* 70 (2):107-112.
- Fast RB (1991)** Manufacturing technology of ready to eat cereals. en: Breakfast cereals and how they are made. *Ed: Fast R. B. and Caldwell E. F. American Association of Cereal Chemist inc. St. Paul Minnesota.*
- Fairweather-Tait SJ (1992)** Bioavailability of trace elements. *Food Chem.* 43:213-17.
- Fairweather-Tait SJ (1987)** The concept of bioavailability as it relates to iron nutrition. *Nutr. Res.* 7:319-325.
- Fennema OR (1993)** "Minerales". En: Química de los alimentos. *Ed. Acribia.*
- Fernandes dos Santos M, Wang S, Ascheri JL, Oliveira M and Costa S (2002a).** Productos extrusados expandidos de misturas de canjiquinha e soja para uso como petiscos. *Pesq. Agropec. Brasília,* 37 (10):1495-1501.
- Fernandes dos Santos M S, Sin-Huei W, Ascheri JL, Ramírez C (2002b)** Puffed extruded corn-grits and soybean mixtures for snack use. *Pesq. agropec. bras.,* 37 (10):1495-1501.

- Ficarella A, Milanese M, Laforgia D (2006)** Numerical study of the extrusion process in cereals production: Part II. Analysis of variance. *Journal of Food Engineering* 72(2):179-188.
- Fomon SJ, Nelson SE and Ziegler EE (2000)** Retention of Iron by Infants *Annual Review of Nutrition* 20, 273-290.
- Fomon SJ, Nelson SE, Serfass RE and Ziegler EE (2005)** Absorption and Loss of Iron in Toddlers Are Highly Correlated *J. Nutr.* 135:771-777.
- Frontela C, García-Alonso FJ, Ros G, Martínez C (2008)** Phytic acid and inositol phosphates in raw flours and infant cereals: The effect of processing. *Journal of Food Composition and Analysis* 21:4, 343-350.
- García-Casal MN and Layrisse M (2001)** The effect of change in pH on the solubility iron bis-glycinate chelate and other iron compounds. *Arch. Latinoam. Nutr.* 51 (1): 35-36.
- Gómez MH, Waniska RD and Rooney LW (1991)** Starch characterization. En: *Starch: Properties and Potential*. Ed. Galliard T. John Wiley & Sons, New York.
- Gómez MH (1985)**. Development of a food of intermediate moistness from extracts of corn and soybean. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 35 (2):306-314.
- Gómez MH and Aguilera JM (1984)** Physicochemical Model for Extrusion of Corn Starch. *Journal of Food Science* .49 (1):40-43.
- González RJ, Torres RL, De Greef DM, Gordo NA (1986)** Evaluación de almidón de maíz precocido por extrusión cocción. *Revista Agroquímica y Tecnología de Alimentos*, 26 (4):552-564.
- González RJ, De Greef DM, Torres RL, Gordo NA (1987)** Efectos de algunas variables de extrusión sobre la harina de maíz. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 37(3): 578-591.
- González RJ, Torres RL, De Greef DM, Gordo NA (1990)** Extrusión Cocción de harina de maíz: Modelo para la viscosidad y su aplicación en las ecuaciones de flujo. *Rev. Agroquímica Tecnol. Aliment. (España)*. 30 (3):347-355.
- González RJ, Torres RL, de Greef DM, Gordo NA y Velocci ME (1991)** Influencia de las condiciones de extrusión en las características de la harina de maíz para elaborar sopas instantáneas. *Rev. Agroquím. Tecnol. Aliment.*, 31 (1):87-96.
- González RJ, Torres RL y De Greef DM (1998)** Comportamiento a la cocción de variedades de arroz y maíz utilizando el amilógrafo y dos diseños de extrusores. *Información Tecnológica*. 9, 35-43.

- González RJ, Torres RL, and Añón MC (2000)** Comparison of rice and corn cooking characteristics before and after extrusion *Polish Journal Food Nutrition Science*, 9 (50):29-34.
- González RJ, Torres RL y De Greef DM (2002)** Extrusión cocción de cereales. *Boletim da Sociedade Brasileira de Ciencia e Tecnologia de Alimentos. Campinas*, 36 (2):104-115.
- González RJ (2003)** Alimentos de Interés Social. Congreso Alimentación en el Siglo XXI. XXVI Reunión Anual de CASLAN, Mendoza. Argentina.
- González RJ, De Greef DM, Torres RL, Robuti J and Borrás F (2003)** Effects of endosperm hardness and extrusion temperature on properties of products obtained with grits from two commercial maize cultivars. *Food Sci. and Technology /LwT*. 37:193-198.
- González RJ, De Greef DM, Torres RL, and Borrás F, Robuti J (2004)** Effects of endosperm hardness and extrusion temperature on properties of products obtained with grits from two commercial maize cultivars. *Lebensm.-Wiss. U. Technol*. 37, 193-198.
- Gorman JE and Clydesdale FM (1983)** The Behavior and stability of iron ascorbate complex in solution. *J of Food Sci*. 48:1217-1220,1225.
- Greger JL (1988)** Calcium Bioavailability. *Cereal Food World* 53 (9):796-800.
- Guy R (2001)** Extrusión de Alimentos. Tecnología y Aplicaciones. Ed. Acribia Zaragoza. España. Cap. 6.
- Hallberg L (1981)** Bioavailability of dietary iron in man. *Ann Rev Nutr*. 1:123-147.
- Hallberg L, Brune M, Erlandsson M, Sandberg AS, Rossander-Hultén L (1991)** Calcium: effect of different amounts on nonheme- and heme-iron absorption in humans. *Am J Clin Nutr*. 53, 112-119.
- Hallberg L, Rossander-Hultén L, Brune M, Gleerup A (1992)** Calcium and iron absorption: mechanism of action and nutritional importance. *Eur J Clin Nutr*. 46:317-327.
- Hallberg L and Rossander L (1984)** Improvement of iron nutrition in developing countries: comparison of adding meat, soy protein, ascorbic acid, citric acid and ferrous sulphate on iron absorption from a simple Latin America-type of meal. *Am. J. Clin. Nutr*. 39:577-583.
- Harmuth-Hoene AE, Seiler K, Seibel W (1985)** Effect of various extrusion conditions on the protein quality of soybean and whole rye meal. *Z. Ernährungswiss*. 24 (2):85-95.
- Harper JM (1989)** Food extruders and their applications. En: *Extrusion Cooking*. Mecier, C; Linko, P; Harper, J.M. editors. American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota, USA. pp: 1-15.

- Harper JM (1981)** Extusion Food. *CRC. Press. Boca Ratón, Florida*, pp. 127-163.
- Herman S, Griffin IJ, Suwarti, Ernawati F, Permaesih D, Pambudi D, and Abrams SA (2002)** Cofortification of iron-fortified flour with zinc sulfate, but not zinc oxide, decreases iron absorption in Indonesian children. *Am J Clin Nutr*;76:813-7.
- Hunt JR (2003)** Bioavailability of iron, zinc, and other trace minerals from vegetarian diets. *Am J Clin Nutr*;78 (suppl):633S-9S.
- Hurrell R (1997)** Preventing iron deficiency through food fortification. *Nutr. Rev* 55, 210-222.
- Hurrell RF, Ribas S and Davidsson L. (1994)** Na<sub>2</sub>Fe<sub>3</sub>EDTA as a food fortificant: influence on zinc, calcium and copper metabolism in the rat. *Br. J. Nutr.* 71 (1):85-93.
- İbanog LS, Ainsworth P, Ayşe Özer E and Plunkett A (2006)** Physical and sensory evaluation of a nutritionally balanced gluten-free extruded snack *Journal of Food Engineering* 75 (4):469-472.
- INACG (1993).** Iron EDTA for Food Fortification. *A report of the International Nutritional Anemia Consultative Group. Lynch SR, Hurrell RF, Bothwell TH, and MacPhail AP. Washington, USA.*
- Johnson JM, Walker PM (1992)** Zinc and iron utilization in young women consuming a beef-based diet. *J Am Diet Assoc*; 92:1474-8.
- Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Aditives (JECFA)** Fiftythird meeting, Rome, June 1-10, 1999. INTERNET <http://www.who.int/pcs/jecfa/Summary53revised.pdf>
- Kokini JL, Chang CN, and Lai LS (1992a).** The rol of rheological properties on extrudate expansion. *In: J. L. Kokini, C. T. Ho, & M. V. Karwe (Eds.), Food Extrusion Science and Technology. New York: Marcel Dekker. pp. 631-652.*
- Kokini JL, Lih Shiuh Lai and Chedid LL (1992b)** Effect of starch structure on starch rheological properties. *Food Technology*, 46 (6):124-139.
- Lai L and Kokini J (1991)** Physicochemical and rheological of starch during extrusion (a review). *Biotechnology Progress* 7 (3):251-266.
- Layrisse M, García-Casal MN, Solano L (2000)** Bioavailabilty in humans from breakfasts enriched with iron glycine chelate, phytates and polyphenols. *J Nut.*, 130:2195-9.
- Lee K (1982)** Iron Chemistry and Bioavailability in Foods Processing *In "Nutritional Bioavailability of Iron,"*, C. Kies, ed., American Chemical Society Div. Ag. Food Chem., Nutr. Subdiv., ACS Books, Washington, D.C. Chapter 3: pp. 27-54.

- Leeman M, Bàrtöm L M , Björck I M E (2005)** In vitro availability of starch in heat-treated potatoes as related to genotype, weight and storage time. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 85 (5):751-756.
- Leviton R (1982)** Tofu, Tempeh, Miso and Other Soyfoods: The Food of the Future-How to Enjoy Its Spectacular Health Benefits, Keats. *Publishing Inc., New Canaan, CT, USA*, pp. 1415.
- Lombardi-Boccia G, Carbonaro M, Cappelloni M y Carnovale E (1996)** Relationship between “*in vivo*” Fe and Zn dializability and peptide composition of albumin and globulins extracted from cooked bean (*Phaeolus vulvaris* L.) *Int. J of Food Science and Nutricion.* 47, 485-492.
- MacPhail A, Bothwell T, Torrance J, Derman D, Bezwoda W, Charlton R, Mayet F (1981)** Factors affecting the absorption of iron from Fe(III)EDTA. *Br. J. Nutr.*; 45:215-227.
- Mahoney AW, Hendriks DG (1982)** Efficiency of hemoglobin regeneration as a method of assessing iron availability in food products. *In: Nutritional bioavailability of iron. ACS Symposium series 203; Kies C. Ed. American Chemistry Society, Washington DC.* pp 1-10.
- Martínez-Navarrete N, Camacho MM, Martínez-Lahuerta J, Martínez- Monzó J and Fito P (2002)** Iron deficiency and iron fortified foods-a review. *Food Research International* 3 (2-3):225-231.
- Mason WR, Hosney RC (1986)** Factors affecting the viscosity of extrusion-cooked wheat starch. *Cereal Chemistry* 63 (5):436-441.
- Mendoza C, Peerson JM, Brown KH and Lönnerdal B (2004)** Effect of a micronutrient fortificant mixture and 2 amounts of calcium on iron and zinc absorption from a processed food supplement. *Am J Clin Nutr.* 79 (2):244-250.
- Mercier C and Feillet P (1975).** Modificación of carbohydrate components by extrusion cooking of cereal products. *Cereal Chem.*(52):283-297.
- Messina MJ (1999)** Legumes and soybeans: overview of their nutritional profile and health effects. *American Journal of Clinical Nutrition.* 70:439-450.
- Miller DD and Berner LA (1989)** Is solubility in vitro a reliable predictor of iron bioavailability? *Biological Trace Element Reserch.* 19:11-24.
- Miller DD, Schricker BR, Rasmussen RR, Van-Campen D (1981)** An in vitro method for estimation of iron availability from meals. *American Journal of Clinical Nutrition* 34:2248-2256.
- Mitchell JR, Areas JA (1992)** Structural changes in biopolymers during extrusion. *In: Food Extrusion Science and Technology. JL Kokini, CT Ho, MV Karwe. Ed. Marcel Dekker New York, pp: 345-360 .*

- Mitchikpe ECS, Dossa RAM, Ategbro EA, van Raaij JMA, Hulshof PJM, Kok, FJ (2008)** The supply of bioavailable iron and zinc may be affected by phytate in Beninese children *Journal of Food Composition and Analysis* 21 (1):17-25.
- Narasinga Rao B S (1981)** Physiology of iron absorption and supplementation. *British Medical Bulletin* 37 (1):25-30.
- Nayak B and Nair K M (2003)** In vitro bioavailability of iron from wheat flour fortified with ascorbic acid, EDTA and sodium hexametaphosphate, with or without iron *Food Chem.* 80:545-550.
- O'Dell BL (1989)** Mineral interactions relevant to nutrient requirements. *Symposium J. Nutr.* 119:1832-1838.
- O'Donnell A y Britos S (2002)** CESNI, la crisis, el hambre y el mañana. *Boletín CESNI. Volumen 12.*
- Olivares M, Pizarro F, Pineda O, Name JJ, Hertrampf E, Walter T (1997)** Milk inhibits and ascorbic acid favors ferrous bis-glycine chelate bioavailability in humans. *J. Nutr* ;127:1407-11.
- OPS – Organización Panamericana de la Salud (2002).** Compuestos de hierro para la fortificación de alimentos: Guías para América Latina y el Caribe, Washington DC, 1-18.
- Oropeza E y Ortiz LB (1989)** Evaluación nutrimental de la proteína del grano de seis cultivares de maíz (*Zea mays L.*). *Revista Facultad de Agronomía.* 15:225-234.
- Park J, Rhee KS, Kim BK and Rhee KC (1993)** Single-screw extrusion of defatted soy flour, corn starch and raw beef blends. *J. Food Sci.* 58 (1):9-19.
- Perez Rubín, A (2004)** Elaboración de productos extrudidos a base de maíz-soja y su caracterización fisicoquímica. *Tesis de la Licenciatura en Biotecnología. Instituto de Tecnología de Alimentos Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina.*
- Pérez JM y Tobón G (2006)** Compuestos de hierro para suplementación oral: principios y avances -revisión sistemática. *Vitae, Rev. Facultad de Química Farmacéutica. Universidad de Antioquia, Medellín - Colombia.* 13 (1):85-95.
- Pizarro F, Olivares M, Hertrampf E, Mazariegos DI, Arredondo M, Letelier A and Gidi V (2002)** Iron bis-glycine chelate competes for the nonheme-iron absorption pathway. *Am. J. Clin. Nutr.* 76 (3):577-581.
- Politz M, Timpa J, and Wasserman B (1994)** Quantitative measurement of extrusion-induced starch fragmentation products in maize. Flour using nonaqueous automated gel-permeation chromatography. *Cereal Chemistry* 71 (6):532-536.

- Portela M L (1993)** Vitaminas y minerales en nutrición. *Libreros López. Buenos Aires. Argentina.*
- Rackis JJ, Wolf WJ, Backer EC (1986)** Protease inhibitors in plants food: Content and inactivation. *In Nutritional and Toxicological Significance of Enzymes Inhibitors in Foods, M. Friedman Ed. Plenum Publ. Corp. pp: 299-347.*
- Ramirez JL and Wanderlei C (1998)** Efecto de los parámetros de extrusión, características de pasta y textura de pellets (snacks de tercera generación) producidos a partir de trigo y maíz. *Alimentaria, 9:93-97.*
- Rhee KS, Kim ES, Kim BK, Jung BM and Rhee KC (2004)** Extrusion of minced catfish with corn and defatted soy flours for snack foods. *Journal of Food Processing & Preservation 28:288-290.*
- Rosado JI (1998)** Deficiencia de zinc y sus implicaciones funcionales. *Salud Publica Mex;40 (2):181-188.*
- Salgueiro J, Zubillaga M, Lysionek A, Sarabia I, Caro R, De Paoli T, Hager A, Weill R and Boccio J. (2000a)** Zinc as an essential micronutrient: a review. *Nutr. Res. 20:737-755.*
- Salgueiro J, Zubillaga M, Lysionek A, Cremaschi G, Sarabia I, Caro R, De Paoli T, Hager A, Weill R, Boccio J (2000b)** Zinc status and immune system relationship: a review. *Biological Trace Element Research. 76:193-205.*
- Salgueiro Mj, Zubillaga M, Weill R, Postaire E, Lysionek A, Caro R, De Paoli T, Hager A, J Boccio (2001)** Is there a need of concern about zinc supplementation in diabetes mellitus patients?. *Biol Trace Elem Res. 81:215-228.*
- Sánchez HD, Osella CA, De La Torre MA, González RJ, Sbodio OA (1999)** Estudio nutricional relativo a proteína, energía y calcio en niños que concurren a comedor escolar. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición. 49(3): 218-222.*
- Senser F y Scherz H (1999)** El pequeño "Souci-Fachmann-Kraut". Tablas de composición de alimentos. *Ed. Acribia, Zaragoza (España).*
- Schlemmer U (1995)** Bioavailability of nutrients. Conceptual aspects of definition and problem of determination. *Br. J. Nutr. 73:150-151.*
- Schricker BR, Miller DD, Rasmussen RR, and Van Campen D (1981)** A comparison of in vivo and in vitro methods for determining availability of iron from meals. *Am J. Clin Nutr. 34:2257-2263.*
- Siegenberg D, Baynes R D, Bothwell H, Macfarlane BJ, Lamparelli RD, Car NG, MacPhail P, Schmidt U, Tal A, and Mayet F (1991)** Ascorbic acid prevents the dose-dependent inhibitory effects of polyphenols and phytates on heme-iron absorption. *Am. J. Clin Nutrition 53:537-541.*

- Solomons NW and Ruz M (1997)** Zinc and iron interaction: concepts and perspectives in the developing world. *Nutr Res.* 17 (1):177-185.
- Solomons NW (1986)** Competitive interactions of iron and zinc in the diet: Consequences for human nutrition. *J. Nutr.* 116:927-935.
- Solomons N and Jacob R (1981)** Studies on the bioavailability of zinc in human: effects of heme and non-heme iron on the absorption of zinc *Am. J. Clin. Nutr.*, 34:475-482.
- THE WORLD BANK (1994)** Enriching Lives, Overcoming Vitamin and Mineral Malnutrition in Developing Countries. *The International Bank for Reconstruction and Development.*
- Torres RL (2005)** Estudio de las Características Fisicoquímicas de diferentes Genotipos (Cultivares) de Maíz y el Comportamiento durante la Extrusión Termoplástica. *Master Thesis on Food Science and Technology. Chemical Engineering Faculty, Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina.*
- Ummadi P, Chenoweth WL, Uebersax MA (1995)** The influence of extrusion processing on iron dialyzability, phytates and tannins in legumes. *J. Food Processing and Preservation*, 19:119-131.
- Umeta M, West CE, Fufa H (2005)** Content of zinc, iron, calcium and their absorption inhibitors in foods commonly consumed in Ethiopia. *J. of Food Composition and Analysis*, 18:803-817.
- UNICEF/UNU/WHO/MI. (1999).** Preventing iron deficiency in women and children. Technical consensus on key issues. *Boston: International Nutrition Foundation*, 1-60.
- Vaclavik V y Christian E W (2002)** Fundamentos de la ciencia de los alimentos *Edit. Acribia. Cap 4.*
- Van Dukkum W (1992)** Significance of iron availability for iron recommendation. *Biol. Trace Elem. Res.* 35:1-11.
- Van Dyck K, Tas S, Robberecht H, Deelstra H (1996)** The influence of different food components on the *in vitro* availability of iron, zinc and calcium from a composed meal. *Int. J. of Food Sci. Nutr.* 47:499-506.
- Walter T, Pizarro T and Olivares M (2003)** Iron Bioavailability in Corn-Masa Tortillas Is Improved by the Addition of Disodium EDTA. *Am. Soc. Nutr Sci.* 3158-3161.
- Watzake H (1998)** Impact of processing on bioavailability examples of minerals in foods. *Food Science and Technology* 9:320-327.



- Wen LF, Rodis P and Wasserman BP (1990).** Starch fragmentation and protein insolubilization during twin-screw extrusion of corn meal. *Cereal Chemistry*. 67 (3):268-275.
- WHO- World Health Organization (1996)** Trace elements in human nutrition and health. Geneva.
- WHO- World Health Organization (1992)** Trace elements in human nutrition and health. Geneva.
- Wienk KJH, Marx JJM, Beynen AC (1999)** The concept of iron bioavailability and its assessment. *Eur. J. Nutr.* 38, 51-75.
- Wise A (1995)** Phytate and zinc bioavailability. *Inter J Food Sci Nutr.* 46:53-63.
- Wolfgor R, Drago SR, Rodriguez V, Pellegrino N, and Valencia ME (2002)** In vitro measurement of available iron in fortified foods. *Food Res. Internat.* 35:85-90.
- Wolfgor R, Rodriguez V, Pellegrino N, Valencia ME (1996)** Evaluación de Cereales Fortificados como aportadores de hierro. *Rev. de la Sociedad Argentina de Nutrición* 7 (2):33-37.
- Young VR (1991)** Soy protein in relation to human protein and amino acid nutrition. *Journal of American Diet Association.* 91 (7):828-835.
- Zhang W and Hoseney RC (1998)** Factors affecting expansion of corn meal with poor and good expansion properties. *Cereal Chemistry*, 75 (5):639-643.
- Ziegler EE, Serfass RE, Nelson SE, Figueroa-Colón R, Edwards BB, Houk RS, and Thompson JJ (1989)** Effect of low zinc intake on absorption and excretion of zinc by infants studied with <sup>70</sup>Zn as extrinsic tag. *J. Nutr.* 119:1647-1653.
- Zijp IM, Korver O and Tijburg LBM (2000)** Effect of Tea and Other Dietary Factors on Iron Absorption. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 40 (5-15):371-398.

# ANEXO

---

## Propiedades Físicas Evaluadas

**Tabla I:** Valores de los duplicados de dos repeticiones, correspondientes a cada una de las propiedades evaluadas.

<b>Muestra</b>	<b>Torque</b>	<b>Q</b>	<b>Ceem</b>	<b>Exp</b>	<b>Volessp</b>	<b>Sol</b>	<b>Resist.</b>	<b>Sensorial</b>
C	5700	83,5	627,68	3,96	9,96	42,5	3,24	3
C	5800	84	634,89	3,89	9,92	43	3,12	
C	6000	84,7	651,36	4,15	10,22	43,5	2,80	
C	5800	84	634,89	4,07	10,30	43	2,94	
AA	5850	84,36	637,63	3,72	9,53	41,5	3,98	4
AA	5750	83,2	635,47	3,8	9,66	42	3,62	
AA	5650	83,8	619,95	3,84	9,61	42,5	3,55	
AA	5700	84,2	622,46	3,92	9,73	42	4,05	
EDTA	5650	83,3	623,67	3,83	10,02	45,5	2,75	3
EDTA	5650	82,5	629,72	3,93	9,86	45	3,15	
EDTA	5600	82	627,95	4,13	9,78	44,5	3,05	
EDTA	5500	81,2	622,81	4,03	9,74	45	2,85	
Citr	5600	87,2	588,74	3,60	7,81	38	4,84	4
Citr	5500	85,7	592,12	3,64	7,90	36	4,36	
Citr	5300	85,5	568,27	3,44	7,74	37,5	4,44	
Citr	5300	85	572,18	3,52	7,78	36,5	4,76	
Fe	5700	84,4	620,99	3,96	9,6	41	3,02	3
Fe	5800	82,8	644,09	4,01	9,68	43	3,38	
Fe	5950	83	659,16	4,05	9,78	41,5	3,45	
Fe	5850	84,6	635,82	4,1	9,9	42,5	2,95	
Fe+AA	5600	83,7	615,2	3,74	8,82	41	4,01	3
Fe+AA	5650	84,5	614,81	3,8	8,94	39	4,59	
Fe+AA	5700	84,6	619,52	3,84	8,9	39,5	4,42	
Fe+AA	5750	84	629,42	3,9	9,02	40,5	4,18	
Fe+EDTA	5500	82,5	613	3,59	9,26	40,8	2,65	2
Fe+EDTA	5450	82	611,13	3,53	9,06	40,2	2,75	
Fe+EDTA	5600	83,5	616,67	3,63	9,18	41	2,62	
Fe+EDTA	5550	82	622,34	3,69	9,22	40	2,78	
Fe+Citr	5000	83,6	551,09	3,53	7,50	37	3,72	4
Fe+Citr	5350	86,8	566,01	3,49	7,33	38	4,08	
Fe+ Citr	5250	85,2	564,02	3,43	7,46	37	3,65	
Fe+ Citr	5300	85	570,87	3,35	7,34	36	4,15	
BF	5650	82,5	629,72	3,65	8,94	39	3,22	3
BF	5600	83,3	618,15	3,56	8,72	37	3,78	
BF	5700	83	631,46	3,53	8,80	38	3,60	
BF	5750	83,6	632,43	3,69	8,98	38	3,40	
BF+AA	5450	82,5	608,12	3,77	8,85	39	3,28	3
BF+AA	5400	83,2	596,79	3,82	8,76	37	2,88	
BF+AA	5550	83,5	612,75	3,85	9,00	38	3,32	
BF+AA	5650	83,8	621,07	3,89	9,10	38	2,84	
BF+EDTA	5350	83,3	592,12	3,45	8,58	34	4,00	3
BF+EDTA	5400	82,6	602,42	3,53	8,67	36	3,40	
BF+EDTA	5500	82,5	612,09	3,47	8,90	34,5	3,52	
BF+EDTA	5400	81,7	606,14	3,55	8,82	35,5	3,88	
BF+Citr	4800	87,2	506,12	3,19	6,77	31,5	5,98	5
BF+Citr	4850	86,0	516,9	3,27	6,88	32,5	5,42	
BF+Citr	4850	83,8	532,24	3,33	6,92	32	5,32	
BF+Citr	4900	84,2	534,97	3,41	7,08	32	6,08	

**Tabla I (Cont.):** Valores de los duplicados de dos repeticiones, correspondientes a cada una de las propiedades evaluadas.

Muestra	Torque	Q	Ceem	Exp	Volesp	Sol	Resist.	Sensorial
EFe	5450	82,9	602,2	3,71	9,04	33	3,82	3
EFe	5350	83,2	590,21	3,82	8,92	35	4,38	
EFe	5650	83	625,92	3,78	8,80	34	3,70	
EFe	5450	83,5	602,23	3,88	8,84	34	4,50	
EFe+AA	5450	82,4	607,3	3,74	8,88	36	4,38	4
EFe+AA	5600	83,1	619,64	3,86	9,02	38	3,92	
EFe+AA	5650	82	632,78	3,78	8,80	37	3,86	
EFe+AA	5550	82,5	621,34	3,9	9,10	37	4,30	
EFe+Citr	5150	88	537,9	3,33	7,38	33	3,75	4
EFe+Citr	5200	86	556,02	3,38	7,22	35	4,45	
EFe+Citr	5100	84	558,12	3,42	7,18	33,5	4,24	
EFe+Citr	5300	84,5	577,34	3,50	7,02	34,5	3,98	
Fe+Zn	5300	83,5	582,09	3,64	9,05	38,5	3,00	3
Fe+Zn	5500	85	592,78	3,73	9,18	39,5	3,30	
Fe+Zn	5650	84,5	612,78	3,75	9,12	39	2,90	
Fe+Zn	5550	82,5	617,23	3,84	9,25	39	3,40	
Zn+Ca	5250	93,3	515,13	3,19	7,40	41,5	5,75	5
Zn+Ca	5300	91,5	530,12	3,27	7,48	40,5	5,25	
Zn+Ca	5200	88,5	540,24	3,39	7,54	41	5,42	
Zn+Ca	5250	88	550,13	3,30	7,58	41	5,61	
Fe+Ca	5700	92	567,21	3,38	7,60	41	6,04	6
Fe+Ca	5450	91,5	550,1	3,20	7,36	40,5	5,56	
Fe+Ca	5350	90,5	544,12	3,28	7,44	41,5	5,63	
Fe+Ca	5150	90	527,23	3,15	7,30	41	5,97	
3	5500	93,5	543,21	3,33	7,56	39,5	6,15	5
3	5300	92	528,1	3,29	7,35	38,5	5,65	
3	5250	92,5	523,01	3,25	7,30	39	5,78	
3	5350	91	538,38	3,22	7,38	39	6,02	
3+EDTA	5400	93,1	531,12	3,14	7,26	41,5	7,35	8
3+EDTA	5200	92,5	515,1	3,02	7,14	42,5	6,75	
3+EDTA	4850	91	491,2	3,04	6,96	41,5	6,85	
3+EDTA	5050	91,5	507,12	2,88	7,02	42,5	7,25	
3+citr	5550	90,5	562	3,33	7,46	40,5	6,46	7
3+citr	5800	91,5	582	3,41	7,56	39,5	5,94	
3+citr	5300	89	550	3,25	7,34	40	6,02	
3+citr	5350	90	546	3,17	7,24	40	6,38	

**NOTA:** Las abreviaturas se corresponden con las definidas en la tabla 3.1: Identificación de las muestras elaboradas, del capítulo 3- Materiales y Métodos.