

Efecto de la adición de harina de soja y concentrado proteico de suero de queso sobre la calidad del pan y la dializabilidad de minerales

Alexis N. Visentín, Silvina R. Drago, Carlos A. Osella, María A. de la Torre, Hugo D. Sánchez y Rolando J. González

Instituto de Tecnología de Alimentos - Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Litoral.
Santa Fe, Argentina

RESUMEN. En este trabajo se estudió el efecto de la incorporación de harina de soja y de concentrado proteico de suero de queso sobre las propiedades físicas de la masa y sobre la calidad del pan de molde. Se realizaron estudios farinográficos y alveográficos sobre las masas. Los panes fueron evaluados por sus atributos sensoriales a través de un panel entrenado y con relación a sus características nutricionales a través de puntaje químico, lisina disponible y disponibilidad potencial del hierro de fortificación y del zinc y calcio intrínsecos. La incorporación de harina de soja (HS) y de concentrado proteico de suero de queso (WPC) produjeron una importante modificación en las propiedades físicas de la masa. El agregado de WPC a un nivel de 6% de reemplazo, incrementó el puntaje químico del pan de 40.2 a 41.4, mientras que con 6% de harina de soja se elevó a 52.2. La mezcla de ambas fuentes proteicas (HS 6% + WPC 6%) permitió aumentar ese puntaje químico a 60.0 sin deterioro evidente de las características organolépticas de los panes. Además, la pérdida de lisina disponible que ocurrió con el WPC fue atenuada con la incorporación simultánea de harina de soja. El agregado de WPC si bien incrementó el aporte de Ca, disminuyó la disponibilidad de Fe y Zn. Este efecto negativo sobre el Fe fue superado por el agregado de promotores de la absorción de minerales, siendo el agregado del EDTA el más beneficioso. Por otra parte el agregado de harina de soja al 6% mejoró el aporte de proteínas sin perjudicar el de minerales. **Palabras clave:** Harina de soja, proteínas lácteas, panificación, disponibilidad de minerales, dializabilidad.

INTRODUCCION

El pan es un alimento ampliamente consumido en la Argentina, por lo que la harina de trigo ha sido elegida como vehículo alimentario para el enriquecimiento con hierro (sulfato ferroso) y vitaminas tales como tiamina, riboflavina, niacina y ácido fólico (Ley 25630, Argentina, 2002).

Aunque aporta energía y otros nutrientes, el trigo presenta deficiencia en aminoácidos esenciales como lisina y treonina lo que lo hace pobre desde el punto de vista nutricional. Con respecto al mejoramiento de su calidad proteica, las proteínas de los cereales se pueden complementar con proteínas de legumbres como las de soja o las de concentrados de proteínas de suero lácteo. Este tipo de materias primas aporta minerales

SUMMARY. Effect of the addition of soy flour and whey protein concentrate on bread quality and mineral dialyzability. The effects of the addition of soy flour and whey protein concentrate (WPC) on dough properties and mold bread quality were studied. Farinograph and alveograph were used to evaluate dough properties. Mold bread quality was evaluated by assessing sensory attributes using a trained panel and analyzing some nutritional characteristics, such as: protein chemical score, available lysine, and potential availability of fortified iron and also of the intrinsic calcium and zinc. Addition of soy flour and WPC caused significant changes on dough properties. Chemical score of bread was increased from 40.2 to 41.4 when 6% WPC was used, from 40.2 to 52.2 when 6% soy flour was added and up to 60.0 when substitution was made with 6% WPC plus 6% soy flour. This last improvement was obtained without impairing sensory attributes. The highest value of available lysine loss during baking, corresponded to the blend containing WPC, but it was reduced when WPC was used together with soy flour. WPC addition increased calcium content but reduced potential availability of iron and zinc. This negative effect on iron availability was overcome by adding mineral absorption promoters, being EDTA the most effective. On the other hand addition of 6% soy flour improved protein value without affecting mineral availability.

Key words: Soy flour, whey protein, baking, mineral availability, dialyzability

intrínsecos además de las proteínas.

En el caso de la soja, tiene un gran potencial de uso como alimento para el ser humano debido a su alto nivel de proteínas de buena calidad y sus propiedades funcionales y nutricionales. El aminoácido limitante es la metionina, mientras que el contenido de lisina excede los requerimientos establecidos, lo que hace factible su uso para suplementación de la harina de trigo (1). Por otro lado, se debe tener en cuenta que la soja posee factores antinutricionales que tienen la propiedad de inhibir la acción de ciertas proteasas del sistema digestivo y son responsables de la disminución del crecimiento de ratas alimentadas con derivados de soja no tratados térmicamente. Estos inhibidores se inactivan por tratamiento térmico adecuado (2,3).

La proteína concentrada de suero es un remanente de la elaboración de queso, donde se separan las proteínas insolubles, que forman el producto principal, de las solubles que forman el suero, con aproximadamente un 90% de agua. Este suero y a través de técnicas como la ultrafiltración se convierte en concentrado proteico de suero, que es aprovechado por diferentes industrias alimenticias. Tanto los concentrados como los aislados de suero de queso (poseen desde 35% a 90% de proteínas) se usan como ingredientes en alimentos por algunas de sus propiedades funcionales (4). Este derivado de la leche posee un buen perfil de aminoácidos y algunos otros nutrientes como por ejemplo el calcio (5).

Con relación a la elaboración de alimentos de interés social, resulta interesante la formulación de un alimento tradicional como es el pan, utilizando tecnologías apropiadas para optimizar la eficacia nutricional, mediante la fortificación con minerales, vitaminas y la utilización de proteínas de buena calidad (6). Sin embargo, el agregado de otras fuentes proteicas, distintas a las del trigo, puede modificar la biodisponibilidad, tanto de los minerales intrínsecos como de los minerales de fortificación (7). La cantidad de mineral absorbido por el cuerpo, en relación al total presente en el alimento, depende de complejas interacciones con el medio fisiológico y con la matriz alimentaria, de la presencia de promotores e inhibidores en la dieta y de factores fisiológicos relacionados al huésped (8).

El objetivo de este trabajo fue estudiar el efecto de la incorporación de harina de soja y de concentrado proteico de suero de queso sobre las propiedades físicas de la masa y sobre la calidad sensorial y nutricional del pan de molde, evaluando además su influencia en la disponibilidad potencial del hierro de fortificación y del zinc y calcio intrínsecos.

MATERIALES Y METODOS

Materias primas

La harina de trigo (HT) fortificada con sulfato ferroso (30 mg de Fe/kg de harina) fue provista por Molinos Matilde S.A., conteniendo 11.7% de proteínas, 1.2% de lípidos y 0.65% de cenizas, obteniéndose con la misma un 26.5% de gluten húmedo. El concentrado proteico de suero de queso (WPC) fue adquirido a Milkaut (Santa Fe) con 33% de proteínas, con un grado de desnaturalización de 59.3%, con 4.1% de lípidos y 8.3% de cenizas. El grado de desnaturalización de las proteínas del suero se determinó midiendo el contenido de proteínas solubles luego de haberse precipitado las proteínas desnaturalizadas del suero reconstituido con NaCl. La diferencia entre el contenido de proteínas total y el contenido de proteínas no-desnaturalizada constituyen las proteínas desnaturalizadas. La harina de soja (HS) fue obtenida a partir de soja comercial, inactivada térmicamente y molida hasta tamaño de partícula menor de 1.19 mm, la cáscara separada por tamizado y logrando un contenido de proteínas de 35.5%, de lípidos

20.5% y de cenizas 6.3%. Para analizar el contenido de proteínas, grasas y cenizas de las materias primas y de los panes de molde se siguieron técnicas de la AACC (9).

Inactivación de lipooxigenasa de la soja

La inactivación de lipooxigenasa de la soja se llevó a cabo por medio de la inmersión de los granos en agua en ebullición durante 2 minutos. Posteriormente fueron sumergidos durante 2 minutos en agua a 20°C. Luego se secaron en horno a 50°C durante 1 hora; se dejaron reposar 3 horas a temperatura ambiente para posteriormente tratarlos nuevamente 1 hora a 50°C. Finalmente se dejaron 24 horas a temperatura ambiente para proceder a la molienda.

Propiedades físicas de la masa

Los farinogramas fueron realizados en el farinografo Brabender (amasadora para 300g) utilizando la técnica AACC (54-21). Se midió absorción de agua (%), estabilidad al amasado (minutos) y ablandamiento (UB). Los alveogramas fueron realizados en alveógrafo Chopin sobre 250g de harina (AACC 54-30). Se midió energía a la ruptura (W) y relación elasticidad/extensibilidad (P/L).

Panificación

Se elaboraron los panes utilizando harina de trigo al 100% como testigo (HT) y sustituida por WPC 6% (HT+WPC), por HS 6% (HT+HS) y por la mezcla WPC 6% + HS 6% (HT+WPC+HS). La formulación contenía además: agua (cantidad suficiente para alcanzar 500 UB en ensayo farinografo), levadura 15g, sal 6g, azúcar 18g, oleomargarina 9g y leche en polvo 6g.

Los panes de molde se elaboraron por triplicado, iniciando el proceso con un amasado de 10 minutos en Amasadora Brabender de 300g de capacidad. Luego se llevó la masa a primera fermentación en cámara con temperatura y humedad controladas (27°C y 75/80%), hasta duplicar el volumen de la misma, controlando con medidor de empuje. Posteriormente se dividió la masa en dos trozos de 230g cada uno, si hicieron bollos y se dejó reposar durante 10 minutos. Se laminaron hasta 6 mm de espesor para proceder al armado manual de las piezas. Se colocaron las piezas recién armadas en moldes metálicos lubricados para llevarlos a la segunda fermentación. Las condiciones de temperatura y humedad fueron las mismas que en la primera fermentación, quedando en esas condiciones hasta cuadruplicar el volumen de masa. Finalmente se llevó a cocción en horno eléctrico de laboratorio a 210°C durante 25 minutos sin vapor.

Volumen específico y evaluación sensorial de los panes

Se determinó el volumen específico de los panes (ml/g), después de 60 minutos de panificados utilizando el método por desplazamiento de semillas (10).

La evaluación sensorial de los panes fue realizada por un panel de tres expertos, quienes asignaron puntaje de acuerdo a su volumen específico y a sus características organolépticas (11). Los atributos evaluados y sus puntajes máximos fueron: Volumen: 15, Corteza: 15, Textura miga: 15, Color miga: 10, Estructura: 10, Aroma y Sabor: 35.

Agregado de promotores

Utilizando la formulación 88% de HT + 6% de WPC + 6% HS se evaluó el efecto del agregado de promotores:

1. Acido ascórbico (AA) en un nivel de 300 ppm con respecto a la mezcla de harinas, relación molar (aproximada para las muestras con agregado de hierro) Fe: AA (1: 2).
2. Citrato de sodio (CI) en un nivel de 1.2%, relación molar aproximada, Fe total: CI de (1: 50).
3. EDTA disódico (Na_2EDTA) en un nivel de 30 mg%, en una relación molar aproximada, Fe total: EDTA (1:1).

Medición de la disponibilidad potencial de minerales

Se utilizó la técnica de dializabilidad modificada por Wolfgor y col (12). Las muestras se prepararon al 10% de sólidos en base seca y se llevaron a pH 2 con HCl 4 N. Luego se agregaron 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 *cutt-off* 6000-8000 Da (Spectrapore) conteniendo una solución buffer. Luego de 50 minutos se agregaron 6.25 ml de una solución de bilis-pancreatina (2.5% de bilis y 0.4% de pancreatina en NaHCO_3 0.1N) y nuevamente se incubó durante 2 horas a 37°C. Al finalizar la digestión, se retiraron las bolsitas, se enjuagaron con agua destilada y el dializado se trasvasó y pesó. Posteriormente se midió el contenido de Fe, Zn y Ca por espectroscopia de absorción atómica. La disponibilidad potencial de minerales se calculó como la cantidad del mineral dializado expresada como porcentaje del contenido de mineral total en la muestra: % Mineral dializado = (mg Mineral dializado/ mg Mineral en la muestra) x 100.

Determinación de minerales totales

Para determinar la concentración de minerales (Fe, Ca y Zn) la muestra se llevó a mufla a 550°C durante 4 horas. Las cenizas fueron levantadas con 10 ml de HCl 10% (v/v). Luego se midió el contenido de minerales por espectroscopia de absorción atómica. Para determinar Ca se utilizó cloruro de lantano a una concentración final de 0,2% a fin de minimizar el efecto de los fosfatos.

Evaluación nutricional

El puntaje químico (*chemical score*), que es una medida de eficacia biológica de una proteína, se obtuvo por cálculo teniendo en cuenta los (mg de aminoácidos/ g proteína) / (mg aminoácidos/ g proteína FAO para niños de 2-5 años de edad).

El contenido de lisina disponible se determinó de acuerdo con el método de Carpenter modificado por Booth (13).

Tratamiento estadístico de datos

Se realizó el ANOVA seguido por el test LSD (*least significant difference*) para comparar medias al 95% de confianza.

RESULTADOS

En Tabla 1 se muestran los valores farinográficos y alveográficos de la harina de trigo (HT) y de sus mezclas con WPC y HS. En Tabla 2 se observan los resultados de volumen específico y puntaje del panel a los panes elaborados con la harina testigo y con los distintos reemplazos a la harina de trigo. En la Tabla 3 se muestran el contenido de proteínas, el Puntaje Químico y la lisina disponible en las mezclas de harinas y en panes elaborados con los distintos reemplazos. La concentración de proteínas se incrementó en 17.8 %; 25.9 % y 29.5 % con el agregado de 6 % de WPC, 6 % de HS y con la mezcla de 6 % de WPC + 6 % de HS, respectivamente. Con respecto a las cenizas, el agregado de la harina de soja y de suero de queso aumentó el contenido de minerales en los panes.

TABLA 1
Valores farinográficos y alveográficos de la harina de trigo (HT) y sus mezclas con concentrado proteico de suero de queso (WPC) y harina de soja (HS)

Tratamiento			Absorción de agua (%)	Estabilidad (minutos)	Ablandamiento (UB)	W	P/L
HT	WPC	HS					
100	0	0	59.6	2.5	40	275	1.3
94	6	0	53.7	3.5	45	93	1.5
94	0	6	60.0	3.0	25	250	2.4
88	6	6	54.6	3.5	40	133	2.2

En la Figura 1 se presentan los valores de dializabilidad (D%) de Fe, Zn y Ca de los panes de las distintas formulaciones y en la Figura 2 el efecto del agregado de promotores en la dializabilidad de minerales.

DISCUSION

Farinogramas y Alveogramas

Se puede observar que la absorción de agua se ve modificada en forma destacada cuando se reemplaza la harina de trigo (HT) por WPC en un 6%. Evidentemente las proteínas del WPC no interactúan con el agua del mismo modo que las de HT, de esta forma es necesario incorporar menos cantidad de agua para formar la masa. Esto coincide con lo encontrado por Sánchez y col (14).

Cuando se analiza la influencia del agregado de harina de soja (HS) se puede ver que no hay una diferencia destacable respecto a la absorción de agua ya que las proteínas de soja compiten por el agua con las proteínas de trigo. Este hecho coincide con lo que establecen Ryan y Brewer (15) quienes destacan que las proteínas de soja tienen un efecto negativo debido a su hidrofiliidad, compitiendo por el agua no sólo con las proteínas formadoras del gluten sino también con el almidón. Hecho éste que también se comprueba a través de los menores valores de ablandamiento farinográfico.

Como se observa en la Tabla 1, cuando se reemplaza parcialmente la harina de trigo por WPC el valor de la energía W (área debajo de la curva alveográfica) es significativamente menor que el valor de la energía para HT. Esta disminución se debe principalmente a que el reemplazo produce una dilución del gluten de acuerdo a lo reportado por Maforimbo y col (16), quienes sugieren la competencia entre las proteínas de las legumbres (no formadoras de gluten) y el agua, la ruptura de los complejos proteína-almidón por las proteínas extrañas y la disminución del intercambio de puentes disulfuro, provocando que exista una menor resistencia de la masa al empuje del aire durante el inflamiento. Este efecto negativo que ya fue estudiado por Sánchez y col. (14), es significativamente mayor cuando se utiliza WPC que cuando se reemplaza a parte de la harina de trigo con HS. No obstante, si bien el reemplazo con HS no produce una disminución del valor de energía W genera un efecto no deseado que es el aumento de la tenacidad de la masa expresado a través del elevado valor de la relación P/L.

Volumen específico y evaluación sensorial

Los resultados mostraron que en el caso de 6% de reemplazo con WPC se obtuvo un bajo valor de volumen específico y de puntaje. No obstante, cabe destacar que los panes presentaron una corteza agradable, subjetivamente de color tostado intenso, como consecuencia de una mayor eficacia de la reacción de Maillard, debido a la importante

cantidad de lactosa presente en el WPC. En cambio con el agregado de 6% de HS se redujo el volumen de pan aunque en forma no significativa. Esta disminución se debe a que la relación P/L indica una masa más tenaz que la del testigo. Además se obtuvo una corteza algo menos coloreada que el control y con algunos puntos oscuros debido a la presencia de partículas de harina de soja. La harina de soja utilizada contiene la lecitina presente en la materia grasa y de acuerdo a Helmerich y Koehler (17) este emulsionante sería el responsable de evitar la disminución del volumen de pan. Cuando el reemplazo de harina de trigo fue del 12% (6% de WPC y 6% HS) se produjo una pérdida de volumen que tampoco fue significativa, siendo además el puntaje muy similar al del testigo. Se aprecia un efecto mejorado cuando se incorporan ambos ingredientes en forma simultánea como si cada uno de ellos anulara el aporte negativo del otro.

TABLA 2

Volúmenes específicos y puntaje de los panes obtenidos con harina de trigo (HT) y de sus mezclas con concentrado proteico de suero de queso (WPC) y harina de soja (HS)

	Tratamiento			Volumen específico (ml/g)	Puntaje panel
	HT	WPC	HS		
100	0	0		4.22 ^a	85 ^a
94	6	0		3.76 ^c	68 ^c
94	0	6		4.10 ^{a,b}	75 ^b
88	6	6		4.02 ^b	83 ^a

Letras distintas indican diferencias significativas (p<0.05)

Calidad proteica de las mezclas de harinas y de los panes

Las proteínas del suero poseen una mayor cantidad de lisina que las de soja (5) lo que produce un mayor valor del puntaje químico de la mezcla. Por esto, el agregado de WPC a un nivel de 6% de reemplazo, incrementó el puntaje químico de la mezcla de 42.2% para HT a 61.2%, mientras que con 6% de HS se elevó a 55.8%. La mezcla de ambas fuentes de proteínas (HS 6% + WPC 6%) permitió llevar el mismo a 71.2%. Sin embargo, durante la cocción hay una pérdida de Lisina Disponible atribuida a la Reacción de Maillard y consecuentemente, una disminución de los valores de puntaje químico. Esta pérdida es de 32% para WPC, de 6% para HS y de 16% para la mezcla WPC+HS. Los mayores valores para WPC se deben a su alto contenido de lactosa.

Efecto del agregado de distintas fuentes de proteínas en la dializabilidad de minerales

Se puede observar que para el caso del hierro, las muestras HT+WPC y HT+WPC+HS no presentaron diferencias significativas entre ellas, mientras que la DFe% de HT y HT+HS presentaron mayores valores que las anteriores. Esto

puede explicarse teniendo en cuenta diversos factores. Por un lado, es conocido el efecto inhibitorio de las proteínas lácteas en la dializabilidad del hierro, aunque se sabe que el efecto inhibitorio de las proteínas del suero es menor que el de las caseínas (18). Por otra parte, el calcio que aporta el suero de queso, disminuye la disponibilidad de hierro. Esto podría estar relacionado con la formación de complejos insolubles con Fe, que alteran la dializabilidad (19). Por otra parte, Hallberg y col (20), observaron que el agregado de Ca inhibe la acción de fitasas endógenas de la harina, lo que podría implicar un contenido final más alto en fitatos en las muestras con agregado de suero.

TABLA 3

Contenido de proteínas, puntaje químico y lisina disponible en las mezclas de harinas y en panes

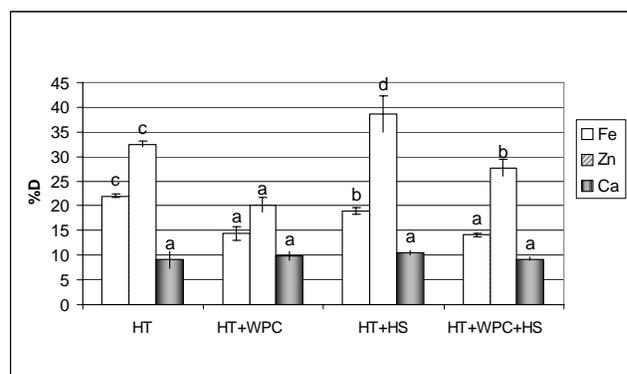
Tratamiento		Proteínas % bs		Puntaje químico (%)		Lisina disponible (g/16 g N)	
HT	WPC	HS	Panes	Harinas	Panes	Harinas	Panes
100	0	0	11.6	42.2	40.2	2.45	2.33
94	6	0	13.6	61.2	41.4	3.54	2.40
94	0	6	14.6	55.8	52.2	3.22	3.03
88	6	6	15.0	71.2	60.0	4.14	3.48

Para el caso del zinc, la muestra con mayor DZn% es la de HT+HS y la de menor dializabilidad son las muestras con agregado de WPC. El Ca forma complejos poli mineral-ligandos conjuntamente con el ácido fítico y el Zn, que disminuyen la disponibilidad del zinc. Esto se debe a que estos complejos fitatos-Zn-Ca son insolubles y consecuentemente no pueden ser absorbidos (21). El efecto beneficioso del agregado de la soja en la DZn% es difícil de explicar ya que se sabe que la harina de soja posee fitatos que son inhibidores de la absorción del zinc y del hierro. En este caso, se ha trabajado con un bajo porcentaje de reemplazo (6%), con lo cual el aporte extra de fitatos no sería importante. Además, la fermentación no sólo hidrolizaría los fitatos presentes en la harina de trigo, sino también los que se podrían incorporar con la soja. Haciendo estas consideraciones, sería posible suponer que el mayor contenido de zinc que aporta la soja a la formulación, aunque bajo podría ser de buena biodisponibilidad.

Con respecto a la DCa%, en todas las muestras fue semejante. Cabe remarcar, que el concentrado de proteínas del suero contiene una buena cantidad de este mineral, por lo tanto las dos muestras que tienen el agregado de WPC, al poseer mayor contenido de calcio aportarán potencialmente mayor cantidad que las otras.

FIGURA 1

Dializabilidad de Fe, Zn y Ca (%D) de panes elaborados con harina de trigo (HT) y de sus mezclas con concentrado proteico de suero de queso (WPC) y harina de soja (HS)



Efecto del agregado de promotores en la dializabilidad de minerales de los panes.

Tomando como base la mezcla HT+HS+WPC, cuyo pan presentó una buena evaluación sensorial, el mayor nivel proteico y el mayor contenido de lisina disponible y de calcio, se ensayó el agregado de distintos promotores de la absorción de minerales para mejorar su disponibilidad.

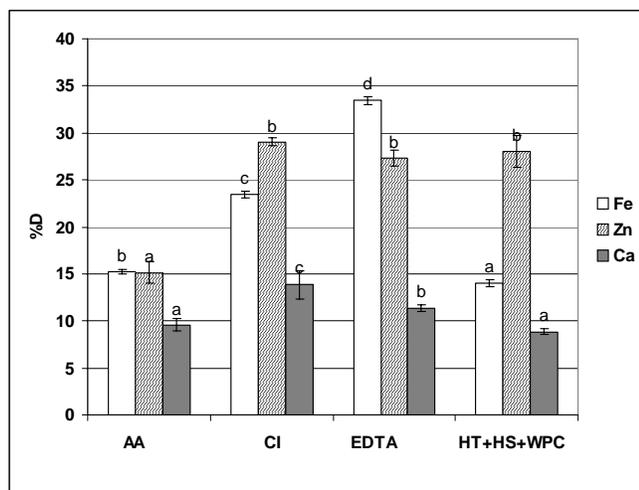
Como se puede observar en la Figura 2 el agregado de ácido ascórbico ejerció un ligero efecto promotor en la DFe%. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que en la masa el AA no cumple una función reductora sino oxidante y que ocasiona cambios en la estructura del gluten (22) y que al estar involucrado en otras reacciones químicas puede no estar mejorando de manera importante la dializabilidad del hierro. Sayer y col (23) observaron que el AA es inestable y no efectivo como promotor del Fe en panes, debido a su oxidación durante el proceso de la panificación. El agregado de AA no modificó la %DCa pero disminuyó la %DZn. El agregado adicional de AA, que también tiene efectos indeseables sobre el gluten y que se traducen en una menor calidad panadera, podría generar interacciones del Zn con algunos componentes de la matriz alimentaria que afecten su disponibilidad.

La adición de EDTA aumentó la dializabilidad, del hierro. El Na₂EDTA es un reconocido promotor de la absorción de hierro en presencia de inhibidores, siendo la relación molar Fe: EDTA 1:1 adecuada para que facilite la absorción del hierro (24). Estudios realizados en adultos y en niños mostraron un significativo aumento en la absorción de hierro cuando se utilizó EDTA como promotor y sulfato ferroso como fortificante en desayunos de prueba y en alimentos a partir de cereales (25). Hurrell y col, (26) también observaron que el mayor incremento en la absorción se obtuvo con el EDTA cuando se evaluaron alimentos utilizando mezclas de harinas de soja con trigo de baja y alta extracción. Por otra parte, el

EDTA promovió muy ligeramente la %DCa y no tuvo efecto en la %DZn.

FIGURA 2

Efecto del agregado de promotores en la dializabilidad de minerales. AA: ácido ascórbico; Cit: citrato; EDTA: EDTA disódico; HT+HS+WPC: pan elaborado con harina de trigo (HT), con concentrado proteico de suero de queso 6% (WPC) y con harina de soja 6% (HS)



El citrato de sodio aumentó la %DFe, comprobándose que en esta matriz alimentaria el citrato puede ejercer un efecto promotor como el observado en otras matrices (27). En el caso del Zn, el citrato no presentó efectos sobre la %DZn. Pabón y Lönnardall (28) observaron que el citrato puede aumentar la absorción del zinc en leche y fórmulas lácteas fortificadas con hierro. Sin embargo, Mendoza y col (29), no pudieron observar el efecto promotor del citrato en la disponibilidad del Zn en un alimento suplementario diseñado a partir de legumbres y cereales. Esto implica que el efecto promotor del citrato podría depender no sólo de la matriz alimentaria sino también de la presencia de hierro de fortificación. El citrato demostró ser promotor del calcio, pero en una medida moderada. Si bien los valores de DCa% son diferentes estadísticamente, las pequeñas diferencias obtenidas con la técnica de diálisis pueden no ser importantes desde el punto de vista nutricional.

CONCLUSIONES

La incorporación de harina de soja (HS) y de concentrado proteico de suero de queso (WPC) produjeron modificaciones en las propiedades físicas de la masa. Este hecho no alcanzó para evitar la posibilidad de lograr un proceso aceptable de panificación con la obtención de panes de buena calidad sensorial y muy mejorada característica nutricional.

El agregado de WPC si bien incrementó el aporte de Ca, disminuyó la disponibilidad de Fe y Zn. Este efecto negativo sobre el Fe pudo ser superado por el agregado de promotores de la absorción de minerales, siendo el agregado del EDTA el más beneficioso. Por otra parte el agregado de soja al 6% puede mejorar el aporte de proteínas sin perjudicar el de minerales.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado con fondos de la Universidad Nacional del Litoral-Argentina a través de la programación CAI+D (Resol.C.S. N° 170/95) y con fondos de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica-Argentina.

REFERENCIAS

1. OMS. Organización Mundial de la Salud. Requerimientos de energía y proteína. 1985.
2. Pringle W. Full fat soy flours. *J Am Oil Chem Soc.* 1974. 51: 75-79.
3. Cheftel JC, Cuq JL, Lorient D. Propiedades nutricionales de las proteínas. En: *Proteínas alimentarias*. Ed. Acribia. S.A. 1989. Cap. 5, 107-139.
4. Yang H, Irudayaraj J, Otgonchimeg S, Walsh M. Rheological study of starch and dairy ingredient-based food systems. *Food Chem.* 2004;86: 571-578.
5. Sindayikengera S, Xia W. Nutrition evaluation of caseins and whey protein and their hydrolysates from Protamex. *J Zhejiang Univ Sci.* 2006. 7(2): 90-98.
6. Sánchez HD, Osella CA, de la Torre MA, González RJ, Sbodio OA. Estudio nutricional relativo a proteína, energía y calcio en niños que concurren a comedor escolar. *Arch Latinoamer de Nutr.* 1999. 49(3): 218-222.
7. Davidsson L. Minerals and trace elements in infant nutrition. *Act Paediatr Suppl.* 1994. 395: 38-42
8. Fairweather-Tait SJ. Bioavailability of trace elements. *Food Chem.* 1992. 43: 213-217
9. American Association of Cereal Chemists. *Approved Methods of the AACC*. The Association: St. Paul, MN. 1994.
10. Sanchez HD, Mancuello JC, Fabre HC. Essai de panification pour le pain francais. *Industries de Céréales.* 1983. 25: 29-32.
11. Tosi EA, Re ED, Masciarelli R, Sánchez HD, Osella CA, de la Torre MA. Whole and deffated hyperproteic amaranth flours tested as wheat flour supplementation in mold breads. *Lebensm -Wiss u-Technol.* 2002;35: 472-475.
12. Wolfgor R, Drago SR, Rodríguez V, Pellegrino N, Valencia M. In vitro measurement of available iron in fortified foods. *Food Res Internat.* 2002;35: 85-90.
13. Booth VH. Problems in the Determination of FDNB-Available Lysine. *J Food Sci and Agr.* 1971. 22 (12): 658-666.
14. Sánchez HD, Osella CA, de la Torre MA. Mejoramiento de la calidad nutricional de pan tipo francés. *Arch Latinoamer de Nutr.* 1998. 48(4): 349-353.
15. Ryan KJ, Brewer MS. In situ examination of starch granule-soy protein and wheat protein interactions. *Food Chem.* 2007. 104: 619-629.

16. Maforimbo E, Skurray G, Uthayakumaran S, Wrigley CW. Improved functional properties for soy-wheat doughs due to modification of the size distribution of polymeric proteins. *J Cereal Sci.* 2006. 43: 223-229.
17. Helmerich G, Koehler P. Functional properties of individual classes of phospholipids in bread making. *J Cereal Sci.* 2005. 42: 233-241.
18. Hurrell RF, Lynch SR, Trinidad PT, Dassenko SA, Cook JD. Iron absorption in humans as influenced by bovine milk proteins. *Am J Clin Nutr.* 1989. 49: 546-552.
19. Lynch SR. Interaction of iron with other nutrients. *Nutr Rev.* 1997. 55 (4): 102-110.
20. Hallberg L, Brune M, Erlandsson M, Sandberg AS, Rossander-Hultén L. Calcium: effect of different amounts on nonheme- and heme-iron absorption in humans. *Am J Clin Nutr.* 1991. 53:112-9.
21. O'Dell BL. Mineral interactions relevant to nutrient requirements. *Symposium J Nutr.* 1989. 119: 1832-1838.
22. Richardson T, Hyslop DB. Enzimas. En: *Química de los Alimentos.* Fennema OR. Ed Acribia SA. Zaragoza, España. 1995. Cap 6: 415-536.
23. Sayers MH, Lynch SR, Charlton RW, Bothwell TH, Walker RB, Mayet F. Iron absorption from rice meals cooked with fortified salt containing ferrous sulfate and ascorbic acid. *Br J Nutr.* 1974. 31: 367-375.
24. MacPhail AP, Pastel RC, Bothwell TH, Lamparelli RD. EDTA and the absorption of iron food. *Am J Clin Nutr.* 1994. 59: 644-648.
25. Davidsson L, Walczk T, Zavaleta N, Hurrell R. Improving iron absorption from a Peruvian school breakfast meal by adding ascorbic acid or Na₂EDTA. *Am J Clin Nutr.* 2001. 73: 283-287.
26. Hurrell RF, Reddy MB, Burry J, Cook J. An evaluation of EDTA compounds for iron fortification of cereal-based foods. *Br J Nutr.* 2000. 84: 903-910.
27. Ballot D, Baynes RD, Bothwell TH, Gillooly M, Macfarlane BJ, MacPhail AP, Lyons G, Binata N, Madhana NK. In vitro bioavailability of iron from wheat flour fortified with ascorbic acid, EDTA and sodium hexametaphosphate, with or without iron. *Food Chem.* 2003. 80: 545-550
28. Pabón ML, Lönnerdal B. Effect of citrate on zinc bioavailability from milk fractions and infant formulas. *Nutr Res.* 1993. 13: 103-111.
29. Mendoza C, Peerson J, Brown K, Lönnerdal B. Effect of a micronutrient fortificant mixture and two amounts of calcium on iron and zinc absorption from a processed food supplement. *Am J Clin Nutr.* 2004. 79(2): 244 -250.

Recibido: 12-11-2008

Aceptado: 22-06-2009