Artículo Original / Original Article

Efecto del proceso de germinación de granos de *Cajanus cajan* en la composición nutricional, ácidos grasos, antioxidantes y bioaccesibilidad mineral

Effect of the germination process of *Cajanus cajan* grains on nutritional composition, fatty acids, antioxidants and mineral bioaccessibility

RESUMEN

Alexia Torres¹, A Cova¹, D. Valera¹.

La germinación es un proceso que involucra cambios en la actividad enzimática de los granos y ruptura de macromoléculas, los cuales disminuyen los factores antinutricionales e incrementan la síntesis de otros constituyentes. Se obtienen granos con características sensoriales mejoradas, mayor valor nutricional y funcional. En esta investigación se germinaron granos de *Cajanus cajan*, por 96 horas, a 20°C en oscuridad, para estudiar las variaciones en composición proximal, ácidos grasos, capacidad antioxidante y bioaccesibilidad mineral. Los resultados obtenidos indican una disminución de las proteínas y aumento de cenizas, grasas y carbohidratos. Se determinó el perfil de ácidos grasos y se identificó la presencia de seis ácidos grasos, siendo el más abundante el ácido linoléico, la cantidad de los mismos también varió como consecuencia del proceso aplicado. El contenido de polifenoles y la capacidad antioxidante de la semilla aumentaron debido a la germinación. Se obtuvieron valores de bioaccesibilidad mineral, en un rango entre 16 y 31% para el magnesio y el potasio, respectivamente. Se concluyó que el quinchoncho representa un alimento de elevado valor nutricional y que a través de la germinación se pueden introducir cambios nutricionales positivos y de esta forma promover su consumo.

Palabras clave: Granos germinados; Composición nutricional; Ácidos grasos; Antioxidantes; Bioaccesibilidad mineral.

1. Departamento de Tecnología de Procesos Biológicos y Bioquímicos.
Universidad Simón Bolívar. Venezuela.

Dirigir correspondencia a: Torres A.
Departamento de Tecnología de procesos Biológicos y Bioquímicos.
Universidad Simón Bolívar. Caracas 1080-A, Venezuela.
E-mail: aitorres@usb.ve

ABSTRACT

Germination is a process that involves changes in the enzymatic activity of grains and macromolecule breakdown, which decreases anti-nutritional factors and increases the synthesis of other constituents. Germinated grains are thus of higher sensory, nutritional and functional value. In this research, pigeon pea (*Cajanus cajan*) grains were germinated for 96 hours at 20°C in the dark. Variations in proximal composition, fatty acids composition, antioxidant ability and mineral bioaccessibility were determined. The results obtained showed that because of the germination process, protein content decreased, while ash, fat and carbohydrate content increased. Fatty acid profile was determined and six fatty acids were identified, with the greatest amount of

linoleic acid. The fatty acid content changed with the applied process. The polyphenolic content and antioxidant ability also increased as a result of the germination process. The values obtained for the mineral bioaccessibility varied from 16 to 31% for magnesium and potassium, respectively. It was concluded that pigeon pea grains represent a food of high nutritional value, which, as a result of germination, can create positive nutritional changes. Thus, consumption of this food should be promoted.

Key words: Germinated grains; Nutritional composition; Fatty acids; Antioxidants; Mineral bioaccessibility.

INTRODUCCIÓN

Las leguminosas tienen una larga historia como

componentes de la nutrición de la humanidad. El contenido relativamente alto de proteína y la composición de aminoácidos constituyen las características más relevantes en este rubro, pero además contienen cantidades valiosas de otros nutrientes como vitaminas, elementos minerales, carbohidratos complejos y ácidos grasos esenciales.

El *Cajanus cajan* (conocido como quinchoncho o gandul), es un género que posee un alto valor nutritivo y ocupa un lugar muy importante en la dieta de muchos países en el mundo. El quinchoncho es una rica fuente de proteínas, carbohidratos y ciertos minerales. Los análisis de la semilla seca de quinchoncho reportan un 15,2% de humedad, 22,3% de proteína, 1,7% de grasa, 3,6% de minerales (como calcio, hierro y fósforo) y 57,2% de carbohidratos¹. Es de fácil producción en zonas consideradas marginales para otros cultivos y ocupa el quinto lugar de importancia a nivel mundial dentro de las leguminosas comestibles². Para el año 2016, las regiones donde se obtuvo la mayor producción de este rubro fueron Asia (3494160TM), África (854488TM), el Caribe (138367TM), América Central (1985 TM) y Sur América (864TM)³.

Las harinas de esta leguminosa han sido empleadas en la preparación de alimentos como panes, galletas, pastas y arepas obteniéndose buenos resultados. No obstante, esto significa un mayor procesamiento de la leguminosa y a su vez un mayor costo tanto para el productor como para el consumidor. Además, se observa una tendencia en el mundo actual de aumentar la ingesta de productos naturales o con la menor cantidad de procesos industriales posible. Es entonces cuando la germinación viene a representar ese proceso natural en el que la semilla por sí misma aumenta su valor nutritivo y ofrece una forma diferente de consumo para el ser humano⁴.

Las leguminosas germinadas son muy populares en países asiáticos. Su uso se ha difundido en barras de ensaladas y entre consumidores conscientes de la nutrición y la salud, ya que es bien conocido que estos granos son ricos en vitaminas y pobres en carbohidratos⁵. La germinación es muy empleada como un proceso doméstico aún en países subdesarrollados, como una opción de bajo costo, para mejorar las carencias nutricionales de la población y ofrecer una alternativa de productos a base de leguminosas⁶.

El proceso permite eliminar o inactivar ciertos factores antinutricionales, aumenta la fibra dietaria, vitaminas del complejo B, ácido ascórbico y el contenido y digestibilidad de proteínas, digestibilidad del almidón, promueve una mayor biodisponibilidad de minerales, y mejora también la funcionalidad de las semillas debido al hecho de que aumentan los compuestos bioactivos^{3,7}.

El remojo o inhibición de la semilla de este grano previo al proceso de germinación, también tiene un efecto sobre la reducción de sustancias no nutritivas (polifenoles, alfa galactósidos, fitatos e inhibidores de tripsina), que posteriormente serán eliminadas en el agua⁵.

Durante la germinación se producen diferentes cambios en la distribución de metabolitos secundarios, movilización de las proteínas de reserva que están almacenadas en los cuerpos proteicos de los cotiledones y cambios en la composición de aminoácidos, produciéndose además, péptidos de peso molecular intermedio⁸.

Este proceso es una estrategia para incrementar el potencial antioxidante de los granos, de acuerdo a lo citado en la literatura⁹, donde además se señala¹⁰ un incremento del 64% en la actividad atrapadora de radicales luego de la germinación de granos de *Cajanus cajan* por 96 horas en oscuridad.

Varias investigaciones^{10,11}, han reportado los efectos benéficos a la salud del consumo de esta leguminosa germinada, en relación a la reducción del estrés oxidativo y la hiperglicemia, y que al ser consumidos en combinación con cereales como el maíz, se logra una mejora en la composición de la dieta, especialmente de poblaciones en países con riesgo de malnutrición.

De tal manera que la germinación podría mejorar las propiedades nutricionales y nutraceuticas de las leguminosas al modificar el contenido de los diferentes metabolitos y, en particular, generando péptidos y aminoácidos con posible actividad biológica.

Los efectos del proceso de germinación han sido estudiados para una variedad de leguminosas comerciales entre otros como la alfalfa (*Medicago sativa* L.), frijoles (*Phaseolus vulgaris* L.), lentejas (*Lens culinaris* L.), guisantes (*Pisum sativum*), etc¹² y el quinchoncho¹³.

La bioaccesibilidad se define como la cantidad de un componente de los alimentos que está presente en el intestino humano, como consecuencia de su liberación de la matriz del alimento, y puede ser capaz de atravesar la barrera intestinal¹⁴. La disponibilidad de los nutrientes, especialmente de los minerales, es particularmente importante ya que muchos componentes presentes en los alimentos y/o dietas, afectan su absorción y utilización, al igual que la forma química de los minerales de fortificación¹⁵.

La biodisponibilidad de los minerales oscila entre menos del 1%, en algunas formas de hierro, hasta más del 90% en el sodio y el potasio. Las razones de la amplitud de este intervalo son variadas y complejas, porque son muchos los factores que interactúan para determinar la biodisponibilidad final de un nutriente¹⁶.

La medida de la dializabilidad de minerales es uno de los métodos *in vitro* más frecuentemente utilizados para medir la biodisponibilidad. Involucra una digestión con pepsina a pH ácido (digestión gástrica), seguida por una digestión a mayor pH con pancreatina y sales biliares (digestión intestinal). La proporción del elemento que difunde a través de una membrana semipermeable durante la etapa de digestión intestinal, después de un período que permitiría llegar al equilibrio, representa su dializabilidad y es usado como un estimador de la proporción del elemento disponible para la absorción¹⁷.

Sin embargo, son pocos los estudios reportados acerca de los efectos que tiene la germinación en la composición de los ácidos grasos, la capacidad antioxidante y la bioaccesibilidad de los minerales del *Cajanus cajan*. Por lo que a través de esta investigación se quiere establecer antecedentes con respecto a los cambios que introduce la germinación en las semillas de quinchoncho en estas propiedades específicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Tratamiento de los granos crudos de quinchoncho y Proceso de Germinación

Las semillas crudas de *Cajanus cajan* var Aroíto, fueron suministradas por un proveedor local, molidas y conservadas en refrigeración hasta su caracterización.

El proceso de germinación se realizó de acuerdo a lo reportado en la literatura^{18,19}, con algunas modificaciones. Se germinaron tres lotes de semillas. Primero, las semillas se colocaron en remojo en una solución de hipoclorito de sodio/30 min/oscuridad. Transcurrido dicho tiempo, las semillas se lavaron con agua destilada hasta pH neutro. Se dejaron en remojo durante 4 h/30 min/ oscuridad. Finalmente, se escurrieron y colocaron en frascos de vidrio con papel de filtro adentro. Estos frascos se colocaron en una caja para simular una cámara de germinación y protegerlos de la luz pero sin cubrir para que circulara suficiente aire. El proceso se mantuvo por 96 horas (4 días), a temperatura de 20 °C. Durante este tiempo las semillas eran regadas con agua para garantizar la humedad durante el proceso. Las semillas germinadas se enjuagaron con agua destilada y liofilizaron a 0,05 mbars hasta completa deshidratación, fueron molidas y conservadas en recipientes herméticos para posteriores análisis de caracterización proximal, perfil de ácidos grasos, polifenoles, medición de la capacidad antioxidante y bioaccesibilidad de componentes minerales.

Determinación de la composición proximal de harina de granos de quinchoncho

A las harinas de semillas crudas y germinadas se les hicieron análisis de humedad por método de calentamiento al vacío²⁰, proteína cruda²⁰, cenizas²⁰, grasas por el método de Bligh-Dyer²¹. Los resultados se reportan en base seca (g/100g). El extracto graso obtenido se empleó para la determinación de ácidos grasos por cromatografía de gases.

Determinación de ácidos grasos por cromatografía de gases

Se siguió el procedimiento descrito en la literatura²² para la derivatización de los ácidos grasos a ésteres de metilo empleando metóxido de Sodio. Una vez obtenidos los metilésteres de ácidos grasos se procedió a su inyección en el cromatógrafo de gases con detector de ionización de llamas (FID), empleando helio como gas de arrastre, una columna HP-5MS 30 m de longitud, 0,25 mm de diámetro interno y 0,25 µm de espesor de fase, división de flujo 1/50,

tiempo de apertura 0,7 min, temperatura inicial 50 °C (2 min) y final 280 °C (5 min), para un tiempo de corrida de 45 min.

Para la identificación de los ácidos grasos se inyectaron los metilésteres en un CG-EM, una vez obtenidos los espectros se trataron con el Software AMDIS y el mismo permitió la identificación de los compuestos por comparación directa de los espectros obtenidos con los de la librería NIST MS. Las condiciones cromatográficas utilizadas fueron las mismas que las de la determinación del perfil de ácidos grasos por CG-FID.

Determinación de polifenoles totales y capacidad antioxidante

Se determinó el contenido de polifenoles en la muestra siguiendo el protocolo establecido²³ empleando ácido gálico como estándar. Los resultados fueron reportados en g/100g en base seca.

La preparación de los extractos se realizó de la misma forma que en el procedimiento para la determinación de polifenoles totales. Para medir la capacidad antioxidante se utilizó el procedimiento del radical DPPH²⁴. Se determinó el porcentaje de DPPH remanente, la concentración de la solución madre, la concentración en la cubeta, la concentración inicial de DPPH en la cubeta (patrón) y la concentración en g/gDPPH. Finalmente, se calculó la eficiencia antirradical.

Determinación de minerales y bioaccesibilidad mineral

A la harina de granos germinados se les midió el contenido de minerales (calcio, hierro, sodio, potasio, zinc, magnesio, manganeso y cobre) empleando la técnica de espectrofotometría de emisión atómica (Spectroflame ICP GBC, Australia) a partir de una solución de cenizas²⁰, posteriormente se le midió la bioaccesibilidad mineral, para lo cual se empleó el método de simulación del proceso de digestión gastrointestinal^{25,26} en sus dos etapas: gástrica (pH 2, concentración de enzimas: 0,5 g de pepsina/100g al 16%, equivalente a 0,005g/g alimento) e intestinal (pH 6,5, enzimas: solución pancreatina-bilis, suficiente para producir 0,01 g de pancreatina / 0,078 g de sales biliares / g de alícuota). Las enzimas empleadas fueron previamente desmineralizadas de acuerdo al procedimiento descrito²⁷.

Se midió el contenido mineral del dializado y el resultado se expresó como: bioaccesibilidad mineral= 100* D/C; donde: D= contenido del mineral del dializado (mg del mineral/g de muestra) C= contenido total del mineral de la muestra (mg del mineral/g de la muestra).

Análisis estadísticos

Los análisis fueron reportados como un promedio de tres réplicas provenientes de los tres lotes analizados y su desviación estándar. Para evaluar el efecto del proceso de germinación en relación a las mediciones realizadas en la harina de granos crudos, se aplicó la prueba estadística de t-student a un nivel de significancia p= 0,05 utilizando el software Statgraphics Centurion XVII.

RESULTADOS

Las harinas de granos crudos y germinados de *Cajanus cajan* fueron analizados en cuanto a su composición proximal. En la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos (expresados en base seca). Se evidencia que

Tabla 1. Composición proximal de la harina de granos crudos y germinados de *Cajanus cajan*.

g/100 g	Crudo	Germinado
Cenizas	3,73±0,05 ^a	4,80±0,06 ^b
Proteínas	24,7±0,07 ^b	19,7±0,13 ^a
Grasas	2,48±0,40 ^a	3,34±0,26 ^b
Carbohidratos*	69,1±0,38 ^a	72,2±0,33 ^b

Valores promedio ± DE.
 *Carbohidratos hallados por diferencia. Los resultados fueron calculados en base seca (g/100 g). Los superíndices distintos en las filas significa que hubo diferencia significativa ($p \leq 0,05$).

hubo un cambio significativo en la composición de los granos de quinchoncho debido al proceso de germinación, ocurriendo una disminución de los valores de proteínas y un aumento en cenizas, grasa y carbohidratos.

En la Tabla 2 se muestran los porcentajes de los ácidos grasos tanto para las muestras crudas como las germinadas. Se pueden observar diferencias en las proporciones de algunos de los ácidos grasos debido al proceso de germinación. El contenido de compuestos polifenoles se reporta en la Tabla 3. Debido a que los polifenoles son compuestos antioxidantes, se procedió a corroborar si ocurría un aumento de la capacidad antioxidante en las semillas de quinchoncho gracias al proceso de germinación.

Se evaluó espectrofotométricamente la actividad del barrido del radical libre DPPH• (1,1-difenil-2-picrilhidracilo) por los extractos de las muestras de quinchoncho crudo y germinado (Tabla 3).

Los resultados obtenidos de la medición de compuestos minerales y la bioaccesibilidad mineral de los granos de *Cajanus cajan* por el método de la dializabilidad son reflejados en la Tabla 4.

Tabla 2. Porcentaje de ácidos grasos en harinas de granos de *Cajanus cajan* crudos y germinados.

Porcentaje (%)	Crudo	Germinado
Ácido Hexadecanoico (A. Palmítico)	21,8±0,30 ^a	25,7±0,09 ^b
Ácido Heptadecanoico (A. Margárico)	2,12±0,02 ^b	1,11±0,08 ^a
Ácido Linoléico	52,9±1,30 ^a	55,9±0,09 ^b
Acido Oléico	13,9±0,03 ^b	10,6±0,36 ^a
Ácido Esteárico	5,79±0,03 ^b	5,27±0,04 ^a
Ácido Eicosanoico	3,73±0,03 ^b	1,32±0,02 ^a

Valores promedio± DE. Superíndices distintos en las filas significa que hubo diferencia significativa ($p \leq 0,05$).

Tabla 3. Contenido de polifenoles totales y capacidad antioxidante en harinas de granos de *Cajanus cajan* crudos y germinados.

	Crudo	Germinado
Contenido de Polifenoles (mg EAG/100 g)*	796,0 ± 5,9 ^a	875,0 ± 14,9 ^b
Capacidad antioxidante		
EC50 (g/gDPPH)	12,6±0,4 ^a	10,7±1,3 ^a
TEC50 (min)	38,0±1,0 ^a	38,9±0,9 ^a
Eficiencia Antirradical (EA) x 10 ⁻³	20,9±1,0 ^a	24,0±0,9 ^b

*Los resultados fueron calculados en base seca (mg/100 g.)
 Valores promedio ± DE. Superíndices distintos en las filas significa que hubo diferencia significativa ($P \leq 0,05$).

Tabla 4. Contenido mineral y bioaccesibilidad mineral en harinas de granos germinados de *Cajanus cajan*.

Compuesto (mg/100 g)	Minerales en granos germinados (mg/100 g)	Mineral bioaccesible (mg/100 g)	Bioaccesibilidad mineral (%)
Potasio	956,6±26,4	333,8±79,0	30,9
Cobre	2,93±0,96	0,74±0,13	26,1
Manganeso	1,39±0,01	0,28±0,02	20,0
Calcio	186,9± 7,9	36,8± 6,1	19,9
Zinc	2,81±0,06	0,54±0,03	19,6
Hierro	13,6±2,0	2,39±0,31	18,0
Magnesio	137,9±5,6	22,6±2,9	16,3

Los resultados fueron calculados en base seca (mg/100 g).
Valores reportados como promedio±D.

DISCUSIÓN

Los valores de composición del quinchoncho crudo (Tabla 1) coinciden con los reportados por otros investigadores²⁸. La disminución de los contenidos de proteína cruda durante la germinación del quinchoncho está de acuerdo con los valores reportados para otros granos²⁹. La respuesta observada se puede explicar mediante el proceso de hidrólisis que ocurre durante la germinación. A medida que progresa la germinación, las fracciones proteínicas de reserva se transforman en otras de menor peso molecular, especialmente pequeños péptidos y aminoácidos. Los aminoácidos liberados pueden ser utilizados en la síntesis de nuevas proteínas en la plántula en desarrollo o para proporcionar energía mediante la oxidación de su esqueleto carbonado. En las semillas, la degradación de las proteínas de reserva se corresponde generalmente con una acumulación de aminoácidos libres en los cotiledones. El incremento observado en el contenido de grasa se traduce en un aumento en los valores de energía en las semillas de germinación debido a que la grasa contiene aproximadamente el doble de los valores de energía que las proteínas y carbohidratos. El incremento observado en el contenido de cenizas coincide con lo reportado en la literatura³⁰.

Acorde con los resultados obtenidos, otros investigadores³¹ reportan incrementos en los carbohidratos totales luego de la germinación de lentejas, alubias y guisantes, atribuido a la hidrólisis de oligosacáridos movilizados y empleados durante el proceso de germinación de la semilla.

Del perfil de ácidos grasos, se realizó la identificación de los mismos y posterior semicuantificación con los cromatogramas obtenidos del FID para la evaluación de los efectos de la germinación, ya que el objetivo era obtener las proporciones de los ácidos grasos y observar si habían diferencias entre los granos crudos y germinados. Se observó que en los cromatogramas de las harinas de semillas tanto crudas como germinadas, no hubo cambios en los tiempos

de retención en la zona de elución de los ácidos grasos y por lo tanto, no se observó la formación de ácidos grasos distintos debido al proceso de germinación, pero si una variación en las intensidades y áreas de los picos.

Las proporciones calculadas de acuerdo al área de los picos obtenidos del GC-FID, permiten evidenciar que el proceso de germinación indujo un incremento estadísticamente significativo (a un nivel de $p < 0,05$) de los ácidos palmítico y linoléico y una disminución de los ácidos margárico, oleico, esteárico y eicosanóico (Tabla 2).

En la literatura, los resultados en cuanto a la variación de la composición de los ácidos grasos por el proceso de germinación de las semillas, no han sido claros y algunas veces contradictorios, algunos autores reportan el aumento de los ácidos grasos saturados mientras que los insaturados disminuyen durante la germinación y atribuyen este comportamiento al aumento de la actividad de la enzima lipoxigenasa que se encarga de degradar los lípidos durante la germinación. No obstante, en otros trabajos se reportan resultados contrarios dependientes del tipo de leguminosa germinada, donde los ácidos grasos monoinsaturados se incrementan en variedades como poroto y soya y en otras disminuyen, así mismo, se reportan incrementos en los ácidos grasos polinsaturados para frijoles y maní³².

Otro factor importante que parece tener una influencia significativa es el tiempo de germinación, ya que dependiendo de este se pueden observar variaciones en el aumento o disminución. En esta investigación sólo se tomó en cuenta un período de 96 horas de germinación, por lo que no se puede confirmar que este cambio llegara a ocurrir.

Por otro lado, el ácido linoleico es el que se encuentra en mayor proporción en las harinas de semillas de *Cajanus cajan*, tanto crudas como germinadas. Se han reportado una gran cantidad de beneficios para la salud por este compuesto, entre los que destacan principalmente la disminución del riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares, pero también

tiene propiedades anti-obesidad, anti-cancerígena, anti-aterogénico, anti-diabetógeno, inmunomodulador, efectos apoptóticos y de osteosíntesis³³.

Se determinó la cantidad de polifenoles totales en las harinas de los granos crudos y germinados de la leguminosa en estudio, observándose un incremento significativo (110%) producto de la germinación (Tabla 3). Esto coincide con lo señalado en trabajos anteriores para *Cajanus cajan*¹³ y luego de la germinación por 72 horas en el garbanzo³⁴, relacionado a la reactivación de la enzima polifenoloxidasas durante la germinación, la cual interviene en la síntesis de compuestos polifenólicos.

De acuerdo a los resultados obtenidos (Tabla 3), la eficiencia antirradical aumenta como resultado del proceso de germinación. La germinación de una especie de lupino (*Lupinus albus*) después de 9 días produjo una mejora en la actividad antioxidante, de acuerdo a lo reportado en la literatura¹⁸, que se corresponde a un aumento en el contenido de las vitaminas E y C, siendo las variaciones en la actividad antioxidante explicados en relación con los cambios en los diferentes compuestos fenólicos identificados. En ambos casos, (actividad antioxidante y niveles de compuestos fenólicos identificados) se produjo un incremento a medida que aumentaban los días de la germinación en los grupos de los compuestos identificados, con la excepción de los compuestos hidroxibenzoico. Un aumento de la actividad antioxidante después de la germinación se observó también en soja, judía azuki y frijol mungo³⁵, atribuido al metabolismo bioquímico de las semillas durante la germinación.

El efecto de la germinación fue evaluado en granos de frijoles (*Phaseolus vulgaris*)³⁶ en presencia de sustancias como ácido ascórbico, ácido fólico y ácido glutámico y se obtuvieron cambios importantes en el perfil de compuestos fenólicos y en la bioactividad de los germinados, lo cual repercute en una mejora de la calidad del mismo e incrementa las propiedades asociadas a la salud.

El contenido mineral total de las leguminosas es generalmente alto, particularmente de potasio, calcio y magnesio, pero la biodisponibilidad de algunos de éstos es baja, debido probablemente a la presencia de fitatos, que es un inhibidor principal de la absorción de Fe y Zn.

En el caso de los minerales, la biodisponibilidad está determinada, en primera instancia, por la eficiencia de la absorción desde el lumen intestinal a la sangre. En algunos casos, sin embargo, los nutrientes absorbidos pueden estar en una forma no utilizable.

De acuerdo a lo reportado en la literatura³⁷, se puede discutir que las harinas de semillas de *Cajanus cajan* germinadas (Tabla 4), reflejan un valor alto de bioaccesibilidad para el potasio y cobre y valores medios para manganeso, calcio, zinc, hierro y magnesio.

En el caso del hierro, el valor obtenido de bioaccesibilidad pudiera estar influenciado por el incremento del ácido ascórbico durante el proceso de germinación¹³, lo cual puede contrarrestar el efecto del ácido fítico y los polifenoles en la absorción del hierro. La germinación influye de manera

negativa sobre el inositol fosfato ya que la planta emplea estos compuestos como fuente de fósforo durante el proceso de germinación. Como resultado de la degradación del inositol fosfato por la activación de las fitasas endógenas, la bioaccesibilidad mineral y la digestibilidad tanto proteica como de almidón se incrementa³⁸.

Tanto para el Fe como para el Zn, las condiciones presentes en el tracto intestinal son los principales determinantes de la absorción. La absorción de hierro ocurre casi exclusivamente en el duodeno y sigue una secuencia de pasos que incluyen la reducción del hierro de los alimentos de su estado férrico a ferroso, la internalización apical del mineral, el almacenamiento intracelular o el tráfico transcelular y la liberación basolateral³⁹. El conocimiento de los mecanismos que regulan la absorción de hierro permite determinar el valor nutricional de los alimentos y la forma de mejorar su biodisponibilidad, pero también permite seleccionar apropiadamente los compuestos de hierro mejores y más seguros que respeten el papel regulador que la mucosa intestinal ejerce sobre la absorción del mineral.

Los resultados obtenidos en este estudio en relación a la bioaccesibilidad el hierro, son similares a los reportados en la literatura⁶, donde se señalan valores de 16,41% en harina de granos de *Vigna radiata* luego de germinación por 42 h, a temperatura ambiente.

Así mismo, se ha reportado²⁵ un valor de dializabilidad para el hierro de 15% para filete de pescado precocido y de 21% para potaje de papas, valores que pueden compararse a los reportados en esta investigación para granos germinados de *Cajanus cajan*.

Si bien la dializabilidad sólo ha sido validada para el hierro, se utiliza también para medir disponibilidad de otros minerales tales como Zn, Ca, Mg y Cu. Con respecto a zinc y calcio, varios autores observaron que esta técnica ha demostrado una buena correlación con estudios *in vivo*⁴⁰.

La Organización Mundial de la Salud (OMS), ha incluido la relación fitato: zinc como criterio para categorizar dietas de acuerdo con la disponibilidad de su contenido en zinc⁴¹. En general, una relación fitato: zinc menor de 5:1 demuestra una alta biodisponibilidad de zinc, entre 5:1 y 15:1 una mediana biodisponibilidad y superior a 15:1 una baja biodisponibilidad. En granos germinados de *Cajanus cajan* se ha reportado una disminución del 40% en el inositol fosfato (reducción de 0,46 en granos crudos a 0,18 g/100g en granos germinados)¹³, por lo que se pudiera concluir que la bioaccesibilidad del mineral zinc pudiera considerarse alta.

El valor obtenido en esta investigación para la bioaccesibilidad del zinc, se encuentra dentro del rango reportado para harinas de granos germinados de *Vigna radiata*⁶ (23,75%) y similar al reportado en un plato a base de pollo con vegetales (19,1%)²⁵.

Para elementos como el Ca donde mecanismos homeostáticos complejos regulan no sólo la absorción sino también la retención, las condiciones en el lumen intestinal no serían los principales factores para regular la biodisponibilidad. Sin embargo, la evaluación de la

dializabilidad del Ca es útil para determinar la proporción de Ca soluble y potencialmente absorbible⁴². La bioaccesibilidad del calcio puede verse afectada por la presencia del ácido fítico, al reducir el contenido del mismo por el proceso de germinación, se favorece la absorción del mineral.

Los valores obtenidos para la dializabilidad del calcio son similares a los reportados²⁵ en menús escolares a base de lentejas con salsa (10,3%), arroz a la cubana (23%), filete de pescado (17,5%) y pasta con salsa (21%).

La dializabilidad de los minerales hierro, zinc y calcio obtenidos en esta investigación son comparables a los reportados en la literatura⁴⁰, en alimentos cocidos de interés social, donde se obtuvo en guiso de arroz y preparación de arroz cuatro quesos, que el porcentaje de dializabilidad del hierro fue de 12,65 y 16,51% respectivamente, para el zinc, el guiso de lentejas presentó un valor de 20,94% y para el calcio se reportaron valores de 22,03% en guiso de arroz, 23,05% en guiso de lentejas y 16,48% en arroz cuatro queso.

CONCLUSIONES

La germinación de *Cajanus cajan*, permitió obtener mayor contenido de cenizas, grasas, carbohidratos, ácidos palmítico y linoleico y compuestos con capacidad antioxidante, con una alta bioaccesibilidad para potasio y cobre y valores medios para manganeso, calcio, zinc, hierro y magnesio. La germinación representa un método de procesamiento económico y sencillo de las leguminosas, lo que las hace aptas para la diversificación de su consumo y preparación de productos como pastas, panes, galletas, barras proteicas y otros, con un valor agregado.

BIBLIOGRAFÍA

- Oshodi A, Ekperigin, M. Functional properties of pigeon pea (*Cajanus cajan*) flour. *Food Chem* 1989; 34(3): 187-191.
- Colina A, Higuera A, Gómez A, Rincón N, Puentes J, Segovia E. Potential market of byproducts derived from pigeon pea (*Cajanus cajan* L. Millsp.) for human consumption in Maracaibo. *Rev Fac Agron* 2008; 25(2): 334-363.
- FAO: Food and Agriculture Organization [Internet]. [citado 4may 2018]. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.
- Dávila M A, Sangronis E, Granito M. Germinated or fermented legumes: food or functional food ingredients. *Arch Latinoam Nutr* 2003; 53 (4): 348-354.
- Luo Y Xie W. Effect of soaking and sprouting on iron and zinc availability in green and white faba bean. *J Food Sci Technol* 2014; 51(12): 3970-3976.
- Oghbaei M, Prakash J. Nutritional properties of green gram germinated in mineral fortified soak water: I. Effect of dehulling on total and bioaccessible nutrients and bioactive components *J Food Sci Technol* 2017; 54(4): 871-879.
- Donkor ON, Slojanovska L, Ginn P, Ashton J, Vasiljevic T. Germinated grains. Sources of bioactive compounds. *Food Chem* 2012; 135(3): 950-959.
- Wilson KA, Rightmire BR, Chen JC, Tan-Wilson AL. Differential proteolysis of glycinin and β -conglycinin polypeptides during soybean germination and seedling growth. *Plant Physiol* 1986; 82: 71-76.
- Fernández-Orozco R, Piskula MK, Zielinski H, Kozłowska H, Frías J, Vidal-Valverde C. Germination as a process to improve the antioxidant capacity of *Lupinus angustifolius* L. var. zapaton. *Eur Food Res Technol* 2006; 223: 495-502.
- Uchegb NN, Ishiwu C. Germinated Pigeon Pea (*Cajanus cajan*): a novel diet for lowering oxidative stress and hyperglycemia *Food Sci Nutr* 2016; 4(5): 772-777.
- Adenekan MK, Oguntoyinbo SI, Odunmbaku LA, Nupo SS. Effect of sprouted pigeon pea (*Cajanus cajan*) on proximate composition and sensory value of tuwo. *J Sci Multidisciplinary Res* 2014; 6(2): 17-21.
- Kuo Y, Rozan P, Lambein F, Frías J, Vidal-Valverde C. Effects of different germination conditions on the contents of free protein and non-protein amino acids of commercial legumes. *Food Chem* 2004; 86: 537-545.
- Torres A, Frías J, Granito M, Vidal-Valverde C. Germinated *Cajanus cajan* seeds as ingredients in pasta products: chemical, biological and sensory evaluation. *Food Chem* 2007; 101: 202-211.
- Quirós AE, Palafox H, Robles RM, González GA. Interaction of phenolic compounds and dietary fiber: antioxidant capacity and bioavailability. *Biotechnia* 2012; 14(1): 3-11.
- Binaghi MJ, Pellegrino NR, Valencia M E. Bioavailability of minerals in infusions of yerba mate (*Ilex paraguariensis* St) and in mixtures with iron-fortified milks. *Arch Latinoam Nutr* 2011; 61(1): 81-86.
- Fennema OR. Food chemistry. 2d edition. Acirbia (Ed). España, 2000.
- Binaghi MJ, Creco CB, López LB, Ronayne PA, Valencia ME. Bioavailability of iron in children's diet. *Arch Argent Pediatr* 2008; 106(5): 387-389.
- Frías J, Miranda ML, Doblado R, Vidal-Valverde C. Effect of germination and fermentation on the antioxidant vitamin content and antioxidant capacity of *Lupinus albus* L. var. Multolupa. *Food Chem* 2005; 92(2): 211-220.
- Lopez-Amoros ML, Hernández T, Estrella I. Effect of germination on legume phenolic compounds and their antioxidant activity. *J Food Compos Anal* 2006; 19: 277-283.
- AOAC. Association of Official Agricultural Chemists. Official Methods of Analysis of the AOAC. 18 th ed. Washington, D.C., The Association, 1990.
- Bligh EG, Dyer WJ. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can J Biochem Physiol* 1959; 37(8): 911-917.
- NVC Covenin 2281-2002. Oils and fats. Determination of the fatty acid profile and iodine index by gas chromatography. Comisión Venezolana de Normas Industriales Caracas, Venezuela. 2002.
- Singleton VL, Orthofer Lamuela-Raventos RM. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Method Enzymol* 1999; 299: 152-178.
- Sánchez Moreno C, Larrauri J A, Saura Calixto F. A procedure to measure the antiradical efficiency of polyphenols. *J Sci Food Agric* 1998; 76(2): 270-276.
- Cámara F, Amaro MA, Barberá R, Clemente G. Bioaccessibility of minerals in school meals: Comparison between dialysis and solubility methods. *Food Chem* 2005; 92: 481-489.
- Cilla A. Antioxidant activity and mineral bioavailability of fruit juices added to minerals and milk [Doctoral Thesis]. Valencia, Universitat de Valencia; 2010.
- Glahn RP, Lee OA, Yeung A, Goldman MI, Miller DD. Caco-

- 2 cell ferritin formation predicts non-radiolabeled food iron availability in an in vitro digestion/Caco-2 cell culture model. *J Nutr* 1998; 128: 1555-1561.
28. Akend K, Abubakar M, Adegbola T, Bogoro S, Doma UD. Chemical evaluation of the nutritive quality of pigeon pea [*Cajanus cajan* (L.) Millsp]. *Int J Poult Sci* 2010; 9(1): 63-65.
 29. Ologhobo A, Fetuga B L. Changes in carbohydrate contents of germinating cowpea seeds. *Food Chem* 1986; 20(2): 117-125.
 30. Oloyo RA. Chemical and nutritional quality changes in germinating seed of *Cajanus cajan* L. *Food Chem* 2004; 20: 117-125.
 31. Vidal-Valverde C, Frías J, Sierra I, Blásquez I, Lambein F, Kuo Y. New functional foods by germination: effects on the nutritive value of beans, lentils and peas. *Eur Food Res Technol* 2002; 215: 472-477.
 32. Megat-Rusydi MR, Noraliza CW, Azrina A, Zulkhairi A. Nutritional changes in germinated legumes and rice varieties. *Inter. Food Res J* 2011; 18: 705-713.
 31. Benjamin S, Spener F. Conjugated linoleic acids as functional food: an insight into their health benefits. *Nutr Metab* 2009; 6(1): 1-3.
 32. Khattak AB, ZebA, Bibi N, Khalil SA, Khattak MS. Influence of germination techniques on phytic acid and polyphenols content of chickpea (*Cicerarietinum* L.) sprouts. *Food Chem* 2007; 104(3): 1074-1079.
 33. Lin PY, Lai HM. Bioactive compounds in legumes and their germinated products. *J Agric Food Chem* 2006; 54(11): 3807-3814.
 34. Dueñas M, Martínez-Villaluenga C, Limón R, Peña E, Frías J. Effect of germination and elicitation on phenolic composition and bioactivity of kidney beans. *Food Res Int* 2015; 70: 55-63.
 35. Kathleen L, Escott-Stump S, Raymond JL, Krause. *Diet therapy*. Elsevier. España; 2012.
 36. Honke J, Kozłowska H, Vidal-Valverde C, Frías J, Górecki R. Changes in quantities of inositol phosphates during maturation and germination of legume seeds. *Z Lebensm Unters Forsch F A* 1998; 206: 279-283.
 37. Haro JF. Bioavailability of different iron compounds added to a functional fruit nectar. Interaction with vitamins and fructo-oligosaccharides. [Doctoral Thesis]. Facultad de Veterinaria. Universidad de Murcia. 2006.
 38. Galán MG, González RJ, Drago SR. Nutritional profile and dialyzability of minerals of food of social interest. *Rev Esp Nutr Hum Diet* 2013; 17(1): 3-9.
 39. WHO/FAO. WorldHealthOrganization. Food and Agriculture Organization International Atomic Energy Association. Trace elements in human health and nutrition. World Health Organization (Ed). Geneva, 1996.
 40. Kennefick S, Cashman KD. Investigation of an in vitro model for predicting the effect of food components on calcium availability from meals. *Int J Food Sci Nutr* 2000; 51: 45-54.