

Caracterización nutricional y determinación de ácido fítico como factor antinutricional del frijol caupí¹

Nutritional characterization and determination of phytic acid as an anti-nutritional factor of cowpea beans

Claudia Denise De-Paula², Sara Jarma-Arroyo², Hermes Aramendiz-Tatis³

Resumen

En Córdoba, Montería, Colombia, la pobreza llega al 67,8%, con un subconsumo de alimentos generalizado en la región y se calcula que, en promedio, el consumo diario de calorías es inferior en 18,7%, por lo cual, es necesario conocer las características bromatológicas y factores anti nutricionales de materias primas regionales. El objetivo de este trabajo fue caracterizar nutricionalmente 43 genotipos de frijol caupí y cuantificar el ácido fítico de los mejores cultivares, a partir del fósforo orgánico suponiendo que una molécula de este ácido contenía seis moléculas de fósforo, en relación con el contenido de proteína y minerales. Los genotipos provenían del Programa de Mejoramiento Genético de la Universidad de Córdoba; la investigación se desarrolló desde el año 2012 al 2014. El testigo Criollo Córdoba tuvo el valor más alto en el contenido de ácido fítico (12,267±2,15 mg/g) y el cultivar L042 el más bajo (9,630±1,725 mg/g), lo que indica una mejoría en la biodisponibilidad de los minerales. El contenido de proteína tuvo un rango entre 22,05%±0,82 a 26,90%±1,76, y con mayor contenido las líneas L047, L042, L026, L029, L019 y L002. La cantidad de hierro varió entre 59,54%±24 y 77-177,90%±122,20, sobresaliendo los cultivares L042, L020, L001, L005, L057 y L047, que superaron al testigo. Los genotipos evaluados presentaron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en el contenido de fósforo y sus valores variaron de 4,64%±0,43 a 5,69%±0,38; ningún cultivar superó al testigo. En contenido de zinc, los cultivares no presentaron diferencias significativas ($p \geq 0,05$), y varió entre 43,46%±4,75 y 53,38%±10,81. El cultivar L042 fue el mejor en características nutricionales y de menor contenido de ácido fítico como sustancia anti nutricional, requeridas para sustituir las variedades de frijol caupí que se consumen actualmente.

Palabras clave: composición de los alimentos, necesidades de nutrientes, valor nutritivo, *Vigna unguiculata* L.

Abstract

In Cordoba, Monteria, Colombia, poverty reaches 67.8% of the population, with a generalized food under consumption in the region, and it is estimated that on average, the daily calorie intake is lower than an 18.7%, so, it is necessary to know the qualitative characteristics and the anti-nutritional factors of regional raw materials. The objective of this study was to nutritionally characterize 43 genotypes of cowpea beans and to quantify the phytic acid of the best cultivars based on the study of organic phosphorus content on the samples, assuming that one molecule of this acid contains six molecules of phosphorus, in relation to the protein content and minerals. The genotypes that

¹ Recibido: 16 de febrero, 2017. Aceptado: 22 de marzo, 2017. Este trabajo formó parte de un macroproyecto de investigación del Programa de Mejoramiento Genético, financiado por la Universidad de Córdoba. Montería, Colombia.

² Universidad de Córdoba, Facultad de Ingeniería. Montería, Colombia. cdepaula@correo.unicordoba.edu.co, shashy510@hotmail.com

³ Universidad de Córdoba, Facultad de Ciencias Agrícolas. Montería, Colombia. haramendiz@hotmail.com



were used came from Córdoba's University Genetic Improvement Program; the investigation was developed between 2012 to 2014. The Criollo Córdoba bean sample, which was used as a control, had the highest value in phytic acid content of $(12.267 \pm 2.15 \text{ mg/g})$ and the cultivar L042 had the lowest phytic acid content $(9.630 \pm 1.725 \text{ mg/g})$, which indicates an improvement in the bioavailability of minerals. The protein content had a range between $22.05\% \pm 0.82$ to $26.90\% \pm 1.76$, and the lines L047, L042, L026, L029, L019 and L002 showed a higher content. The iron amount varied between $59.54\% \pm 24$ and $77-177.90\% \pm 122.20$, excelling in the cultivars L042, L020, L001, L005, L057 and L047, which exceeded the control sample. The tested genotypes showed significant differences ($p \leq 0.05$) in phosphorus content and values ranged from 4.64 ± 0.43 to $5.69\% \pm 0.38\%$; no cultivar surpassed the control sample. In zinc content, cultivars showed no significant differences ($p \geq 0.05$), and ranged between $43.46\% \pm 4.75$ and $10.81 \pm 53.38\%$. L042 cultivar was the best in nutritional and lower phytic acid content as antinutritional substance required to replace the currently consumed varieties of cowpea beans.

Keywords: food composition, nutritional requirements, nutritional value, *Vigna unguiculata* L.

Introducción

En Colombia, para el 2016 se llegó a 49 246 676 personas, de las cuales 13 789 069 se estima que viven en pobreza monetaria (DANE, 2016). En la región Caribe, las cifras siguen siendo preocupantes, ya que posee los índices más altos, especialmente en los departamentos de Sucre, Córdoba y Guajira, con 68,1%, 67,8% y 66,9% respectivamente, seguidos por Magdalena (60,5%), Cesar (60,3%), Bolívar (57,4%) y Atlántico (46,9%). El subconsumo de alimentos es generalizado en la región y se calcula que en promedio, el consumo diario de calorías es inferior en 18,7% al recomendado, lo cual afecta de manera particularmente grave a los hogares con mayores niveles de pobreza (BID, 2011).

Grandes segmentos de la población en los países en desarrollo sufren de malnutrición proteica; las proyecciones basadas en las tendencias actuales indican una brecha cada vez mayor entre la población humana y el suministro de proteínas. La deficiencia de micronutrientes también constituye un problema de salud pública en estos países. En el mundo la carencia nutricional más frecuente es la de hierro, manifestada por anemia, que afecta a 1,9 millones de personas en el mundo (Fischer et al., 2009). En Colombia la padecen 27,5% de los niños de 6 a 59 meses de edad, siendo significativamente mayor la prevalencia entre el grupo indígena (32,6%) y afrodescendiente (33,7%) que otros (26,3%); también 17,9% de mujeres gestantes y 7,6% de mujeres en edad fértil presentan esta afectación (Ministerio de la Protección Social e Instituto Colombiano de Protección Familiar, 2011). Por lo anterior, es de gran importancia fomentar la producción e ingesta de leguminosas, especialmente cuando se trata de alimentos con alto consumo en la comunidad.

El frijol caupí constituye una fuente importante de hierro, zinc y proteínas en muchos países del mundo, incluidos el continente africano y Latinoamérica, con una producción anual de 5 718 145 t (FAO, 2013). Los ingresos de las familias colombianas de escasos recursos, especialmente de estratos 0, 1 y 2, son tan bajos que estas se inhiben de comprar muchas veces alimentos que proporcionen un óptimo contenido nutricional por su alto costo. Por esto, nace la alternativa de encontrar alimentos sustitutos más económicos, como es el caso del frijol caupí, que posee una biodisponibilidad de hierro equivalente a 16,38% frente a un 15,53% del fríjol común (*Phaseolus vulgaris* L.), mayor contenido de zinc (Sing et al., 2016), y con alto contenido de proteínas, destacándose por la presencia de aminoácidos esenciales como fenilalanina, histidina, isoleucina, leucina, lisina, treonina, triptófano, valina, arginina y metionina (Frota et al., 2008), que son indispensables para el crecimiento y desarrollo normal de los niños, y de un ciclo productivo más precoz en treinta días (Prada et al., 2005).

El frijol caupí puede contener porcentajes de proteína entre 22,5 a 25,6%, almidón del 28,3 a 36,2%, grasas de 1,3 a 1,9%, fibra de 1,7 a 3,0% y minerales de 3,2 a 3,7% (Antova et al., 2014). Esta especie posee, como otras leguminosas, factores antinutricionales cuya cantidad depende del genotipo y del ambiente que lo rodea. Se indica la presencia de por lo menos cuatro factores antinutricionales: los inhibidores de tripsina, taninos, ácido fítico y hemaglutinina (Oluwatosin, 1999).

El ácido fítico, mioinositolhexaquisfosfato (IP6), y sus sales derivadas constituyen la mayor reserva de fósforo y mioinositol de las semillas de cereales y leguminosas. Desde el punto de vista nutricional, el interés en determinar la cantidad del ácido fítico se debe principalmente a su capacidad de formar complejos con minerales esenciales como Cu, Zn, Fe, K, Mg y Ca (Martínez et al., 2002), lo que disminuye la absorción intestinal y la biodisponibilidad de estos minerales para el hombre, debido a que, estos no están provistos de suficiente actividad de fosfatasa endógenas (fitasas) que sean capaces de liberar los minerales de la estructura del fitato.

Un estudio realizado en cultivares de frijol caupí en Nigeria, reportó que las semillas contenían 20,1 a 25,8% de proteína cruda, 0,99 a 1,96 mg de polifenoles y 1,15 a 2,10 mg/g de ácido fítico, en variedades derivadas del cruzamiento entre IT8ID-699 y TVx 3236, las cuales mostraron buena calidad nutricional (Giami, 2005). Contenidos de ácido fítico entre 8,86 y 9,62 mg/g en variedades de la especie *Phaseolus vulgaris* en Nicaragua, fueron indicados por Martínez-Meyer et al. (2013). En Brasil Brigide y Canniatti-Brazaca (2006), en cultivares de la misma especie, obtuvieron entre 4,63 y 9,55 mg/g del mismo componente. No existe un rango o valor apropiado del contenido de ácido fítico; su importancia radica en que entre menos presencia haya en las semillas, mayor es la biodisponibilidad de minerales y proteínas para la absorción durante el consumo (Chaparro et al., 2009).

Las propiedades antinutricionales de los recursos vegetales son tan importantes como los componentes nutricionales, y las leguminosas, grupo dentro del cual se encuentra el frijol caupí, tienen un alto contenido de proteína en comparación con otras familias (Shim et al., 2003). Por lo tanto, son ampliamente utilizados como una fuente de proteína en las dietas humanas. Las legumbres contienen el doble de proteínas que los cereales, sin embargo, su valor nutricional está limitado por la presencia de factores antinutricionales.

Ante el alto costo de las proteínas de origen animal, el frijol caupí es la fuente de proteína viable más económica para las familias vulnerables del campo y los estratos de menores ingresos en Colombia, dado que el grano y las hojas son una fuente importante de aminoácidos, minerales, vitaminas y nitrógeno. Sin embargo, poseen factores antinutricionales que reducen la digestibilidad y absorción de los aminoácidos y la biodisponibilidad de los minerales. Aunque, estos factores antinutricionales pueden ser reducidos a través del proceso de cocción, aumentando la disponibilidad de dichos micronutrientes (Mitchikpe et al., 2008).

En la búsqueda de alternativas nutricionales, es necesario estudiar las líneas promisorias del frijol caupí, que podrían ser las próximas variedades para entregar a los agricultores e identificar cuál de estas tienen mejor contenido nutricional y menor cantidad de ácido fítico, y así ser una opción de reemplazo de fuentes proteicas y de minerales de mayor costo.

El objetivo de esta investigación fue caracterizar nutricionalmente 43 genotipos de frijol caupí y cuantificar el contenido de ácido fítico en los mejores genotipos, en relación con el contenido de proteína y minerales.

Materiales y métodos

Localización

El estudio se realizó en los Laboratorios de Suelos y de Análisis de Alimentos de la Universidad de Córdoba, Colombia; el primero, está localizado en la ciudad de Montería, ubicado a una altura de 13 msnm, con coordenadas geográficas a los 8° 52' de latitud norte y 76° 48' latitud oeste, respecto al meridiano de Greenwich. El segundo está

localizado en la sede Berástegui, municipio de Ciénaga de Oro a 25 km de la ciudad de Montería, en una ubicación geográfica de: 8° 53' de latitud norte y 75° 42' longitud occidental.

La investigación se ejecutó desde el mes de enero de 2012 hasta diciembre de 2014, a través de selección de líneas por sus ventajas agronómicas y contenido nutricional, posterior evaluación por su tolerancia a sequía y las de mejor respuesta fueron valoradas en diferentes ambientes y así mismo, su contenido nutricional y cantidad de ácido fítico.

Las muestras fueron obtenidas de 43 genotipos de frijol caupí (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) provenientes del Programa de Mejoramiento Genético de la Universidad de Córdoba y un testigo usado por los agricultores del departamento de Córdoba (Cuadro 1).

Cuadro 1. Genotipos y testigo de frijol caupí (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) utilizados para caracterizarlos nutricionalmente. Montería, Colombia. Enero, 2012.

Table 1. Genotyping and control sample of cowpea bean (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) used to characterize nutritionally the genotypes. Monteria, Colombia. January, 2012.

Tratamiento*	Genotipo	Tratamiento	Genotipo
Testigo	Criollo Córdoba (CRCORD)	T22	L024
T1	C001	T23	L025
T2	C002	T24	L026
T3	C003	T25	L028
T4	CBETAN	T26	L029
T5	CRTALTA	T27	L030
T6	IT86	T28	L031
T7	L001	T29	L032
T8	L002	T30	L033
T9	L003	T31	L034
T10	L005	T32	L036
T11	L006	T33	L037
T12	L007	T34	L038
T13	L009	T35	L042
T14	L011	T36	L047
T15	L014	T37	L055
T16	L016	T38	L056
T17	L018	T39	L057
T18	L019	T40	L066
T19	L020	T41	L067
T20	L022	T42	L070
T21	L023	T43	LCPM35

*Cada tratamiento corresponde a un genotipo de frijol caupí / Each treatment corresponds to a different cowpea bean genotype.

Caracterización nutricional

Para la evaluación de la calidad nutricional de la semilla de los genotipos estudiados, se realizaron determinaciones de: proteína total por el método de Kjeldahl, con digestión ácida (AOAC 979.09), contenido de zinc (AOAC 969.32), hierro (AOAC 945.38) y fósforo (AOAC 931.01) (AOAC, 2012).

Determinación de ácido fítico

El fitato de calcio fue convertido en ácido fítico libre por el método de Angyal y Russell (1969). El ácido fítico libre fue determinado de acuerdo con el procedimiento descrito por Harland y Oberleas (1977), y el fósforo orgánico liberado fue medido colorimétricamente (Chen et al., 1956). La cantidad de ácido fítico se calculó a partir del fósforo orgánico, suponiendo que una molécula de este ácido contenía seis moléculas de fósforo. Alternativamente, el fitato de sodio se puede utilizar como un estándar, ya que es soluble en agua y no requiere la conversión a la forma de ácido fítico libre. Se preparó una serie de soluciones estándar que contenían 5-40 $\mu\text{g/ml}$ de ácido fítico en agua destilada. 3 ml de la solución estándar se pipetearon en tubos de centrifuga cónico de 15 ml, con 3 ml de agua utilizadas como nivel cero. A cada tubo se le añadió 1 ml del reactivo de Wade modificado (0,03% $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ y ácido sulfosalicílico 0,3% en agua destilada), la solución se mezcló en un vórtex durante 5 s. La mezcla se centrifugó durante 10 min y el sobrenadante se leyó a 500 nm. El espectro de absorbancia se examinó mediante un espectrofotómetro.

Se realizó una selección de los ocho cultivares de frijol, a través de un índice de selección para escoger los mejores materiales que seguirían en la siguiente fase y que contenían el menor contenido de ácido fítico (Chaparro et al., 2009).

El índice de selección establecido fue el siguiente: 0,3 (rendimiento de grano) + 0,2 (vainas por planta) + 0,1 (semillas por vaina) + 0,2 (peso de cien semillas) + 0,2 (porcentaje de proteína) + 0,06 (hierro) + 0,02 (fósforo) + 0,02 (zinc), considerando la importancia económica y nutricional de dichas variables en el sistema de producción, se seleccionaron los cultivares que combinaron estos dos aspectos, tal como lo sostienen Tucuch-Cauchich et al. (2011) (Ecu. 1).

El diseño experimental fue de bloques completamente al azar con 43 tratamientos de cinco repeticiones en la caracterización nutricional y nueve tratamientos con tres repeticiones en la cuantificación de ácido fítico. Cada unidad experimental estuvo conformada por una muestra de 500 g de cada genotipo, las cuales fueron molidas previamente para valorar las variables respuesta. Los datos fueron analizados mediante un análisis de varianza y posteriormente, se utilizó la prueba de Fisher ($p \leq 0,05$), con base en el programa estadístico SAS versión 9.1 (SAS, 2007).

Resultados

Caracterización nutricional

En el Cuadro 2, se muestran los rangos del contenido de proteína, hierro, fósforo y zinc. Los genotipos de mayores contenidos de proteína fueron LCPM35, L042, L047, L026, L029, L019 y L002, con 26,90% \pm 1,76, 26,76% \pm 1,64, 26,76% \pm 1,07, 26,48% \pm 0,97, 26,47% \pm 1,74, 26,32% \pm 0,83 y 26,23% \pm 2,05, respectivamente. El testigo (CRCORD) arrojó un valor menor con 24,68% \pm 1,16.

Los genotipos L042 y L020 fueron los que presentaron mayores contenidos de hierro con 177,90% \pm 122,20 y 166,44% \pm 101,62. El testigo (CRCORD) presentó un contenido de 60,99% \pm 36,82.

Cuadro 2. Contenido promedio de proteína, hierro, fósforo y zinc, de 43 genotipos de caupí (*Vigna unguiculata* (L.) Walp), del Programa de Mejoramiento Genético de la Universidad de Córdoba. Montería (Colombia). Junio, 2014.

Table 2. Average content of protein, iron, phosphorus and zinc, of 43 genotypes of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp), from Córdoba's University Genetic Improvement Program. Monteria (Colombia). June, 2014.

Contenido	Rango
Proteína (g-%)	22,06±0,82 - 26,90±1,76
Hierro (mg-%)	59,54±24,77 - 177,90±122,20
Fósforo (mg-%)	4,63±0,26 - 5,69±0,38
Zinc (mg-%)	43,46±4,75 - 53,38±10,81

El testigo (CRCORD) fue el que presentó el mayor contenido de fósforo de 5,69%±0,38, seguido de las líneas L066 (5,68%±0,51), L070 (5,67%±0,53), LCPM35 (5,65%±0,60) y L042 (5,62%±0,86).

En el contenido de zinc, los genotipos con mayor cantidad fueron L047, C001, L034 con 53,38%±10,81, 52,34%±5,41 y 52,30%±7,74, respectivamente. El testigo (CRCORD) mostró un contenido de 51,75%±6,79.

Contenido de ácido fítico

Los genotipos seleccionados por presentar mayores índices de selección (Ecu. 1), fueron CRCORD (testigo), L047, L020, L001, L041, L006, L034, L019 y L042; de los cuales el de mayor contenido de ácido fítico fue CRCORD (12,267±2,158 mg/g) y el de menor fue L042 (9,630±1,725 mg/g) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Presencia de ácido fítico en los ocho cultivares de frijol caupí (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) seleccionados del Programa de Mejoramiento Genético de la Universidad de Córdoba*. Montería (Colombia). Diciembre, 2014.

Table 3. Phytic acid presence in the eight selected cowpea bean cultivars (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) from Córdoba's University Genetic Improvement. Montería (Colombia). December, 2014.

Genotipo	Ácido fítico (mg/g)
CRCORD (testigo)	12,27±2,16 ^{ab}
L047	11,98±1,16 ^{ab}
L020	11,92±0,85 ^{ab}
L001	11,44±0,67 ^b
L014	9,89±1,48 ^b
L006	9,74±2,54 ^b
L034	9,74±2,19 ^b
L019	9,71±2,05 ^b
L042	9,63±1,73 ^b

*Promedio de tres repeticiones ± desviación estándar / Average of three repetitions ± standard deviation.

Valores con la misma letra son iguales estadísticamente / Values with the same letter are statistically equal.

Discusión

El análisis de varianza para el contenido nutricional arrojó diferencia altamente significativa ($p \leq 0,01$) para la variable porcentaje de proteína (Cuadro 2), lo que obedece a las diferencias genéticas entre los cultivares, en el peso molecular de las proteínas (Oppong-Konadu et al., 2005) y método de procedimiento (Wang y Daun, 2004; Singh et al., 2006). El rango de porcentaje de proteína fluctuó entre $22,06\% \pm 0,82$ para L038 y $26,90\% \pm 1,76$ para LCPM35, con una media de $24,76\%$ (Cuadro 2), lo que supera los valores reportados por Vargas et al. (2012) y Frota et al. (2008). Y se encuentran en el rango reportado por Singh et al. (2006); Vasconcelos et al. (2010) y Carvalho et al. (2012), en cultivares de frijol caupí y un coeficiente de variación de $5,70\%$, por lo que, la precisión experimental es buena y confiable, ya que, el coeficiente de variación resultó inferior al 16% (Hortwitz, 1982).

Los resultados mostrados en el Cuadro 2, fueron semejantes a los reportados por Giami (2005), quien expresó que la composición química y las propiedades nutricionales del frijol caupí varían considerablemente según la variedad y las condiciones ambientales; en el caso del valor nutritivo del porcentaje de proteína, este es determinado por el patrón y la cantidad de aminoácidos esenciales presentes. La presencia de uno o varios de los aminoácidos esenciales en cantidades adecuadas aumenta el valor nutritivo de la proteína en el frijol caupí (Rangel et al., 2004), sus proteínas se destacan por poseer altos y variables niveles de leucina, lisina, treonina y fenilalanina, como fue corroborado en 21 cultivares de frijol caupí por Gupta et al. (2010); por lo que, los genotipos de mayor porcentaje de proteína, contribuirían mucho a reducir los problemas del hambre. Lo anterior, desde una perspectiva de consumo, mejoraría significativamente al mejoramiento de la ingesta de los estratos económicos con menor capacidad para adquirir proteína animal; por lo que, el mejoramiento genético debe estar orientado no solo a aumentar el porcentaje de proteína, sino la calidad y cantidad de aminoácidos esenciales.

Entre los genotipos evaluados se destacan las líneas LCPM35, L047, L042, L026, L029, L019 y L002, que superaron a la variedad Criollo Córdoba, lo que constituye una ventaja nutricional para las personas de bajos recursos, ante el elevado costo de la proteína animal, como lo sostiene Frota et al. (2008).

El contenido de hierro mostró diferencias significativas entre los cultivares ($p \leq 0,05$) (Cuadro 2), esto indica que el frijol caupí puede mejorar sustancialmente el contenido de este mineral (Cruz et al., 2003), debido a que, este micronutriente tiene funciones primarias por ser componente de la sangre y las enzimas que participan en la transferencia de electrones, además de la síntesis de proteínas y ácidos nucleicos, el metabolismo de hidratos de carbono, entre otros (King et al., 2000; Cairo et al., 2002). Asimismo, la presencia de diferencia genética posibilita la obtención de cultivares que minimicen el problema de la deficiencia de hierro que abarca una población de cinco billones de habitantes en el mundo, especialmente en los países en vía de desarrollo (Meenakshi et al., 2010), y aun cuando la diversificación y la fortificación representan una buena alternativa, las condiciones económicas constituyen una desventaja, para un país que posee indicadores de pobreza y pobreza económica alta. El respetar los hábitos alimenticios y biofortificar estos alimentos, sin lugar a duda mejora los indicadores bioquímicos de las personas vulnerables, como sucedió en Filipinas, donde se incrementó en $2,6$ ppm el contenido de hierro en el arroz y el consumo por nueve meses mejoró la salud de las mujeres (Haas et al., 2005).

Todos los genotipos evaluados presentaron mayor contenido de hierro (Cuadro 2) a los reportados por Frota et al. (2008) y Vargas et al. (2012), lo que es una ventaja nutricional en la búsqueda de cultivares biofortificados, dado que el hierro es un elemento limitante en la ingesta de la población del país, donde la incidencia más alta de esta deficiencia se registra en el grupo de los menores de cinco años, especialmente en la región Pacífica, que registra el mayor porcentaje ($32,2\%$), así como en la región Caribe, la Oriental, la Amazonía y la Orinoquía, con porcentajes muy similares de alrededor de 29% , mientras que a Bogotá le corresponde el menor índice de anemia en todo el país con un 21% (BID, 2011).

Los genotipos de mayor contenido de hierro fueron el L042 y el L020, los cuales superaron ampliamente al testigo Criollo Córdoba (CRCORD), por lo que, representan una buena alternativa para minimizar los problemas

de hambre oculta en la deficiencia de este mineral; además, corrobora que esta especie es una buena fuente para satisfacer las necesidades de este mineral, como lo sostienen Iqbal et al. (2006). El consumo de frijol caupí en la región Caribe es más relevante que el frijol común, dado que su costo es mucho menor y el ciclo del cultivo es de aproximadamente sesenta días, lo que constituye una ventaja económica, agronómica y de producción frente a las variedades de la especie *Phaseolus vulgaris* provenientes de la zona Andina, ya que, es preparado de diferentes formas: buñuelos, sopas, arroz con verduras, arroz con fríjol, guisos, dulces, etc.

Los genotipos evaluados presentaron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en el contenido de fósforo (Cuadro 2), con un promedio de 5,21% y un coeficiente de variación de 10,54%. Sin embargo, ninguna línea superó a la variedad Criollo Córdoba en la cantidad de este nutriente, la cual arrojó un valor de 5,69%±0,38; los resultados obtenidos fueron inferiores a los reportados por Avanza et al. (2013), Vargas et al. (2012) y Frota et al. (2008), lo que amerita, la introgresión de recursos genéticos para mejorar este indicador, en aras de desarrollar nuevos cultivares que satisfagan las necesidades del ser humano de acuerdo con su etapa de crecimiento y desarrollo, especialmente en mujeres embarazadas o en personas muy desnutridas o alcohólicas que padecen hipofosfatemia (<3 mg/dl), caracterizada por pérdida de apetito, anemia y alteraciones cardíacas, entre otras alteraciones (Otten et al., 2006).

Los cultivares no presentaron diferencias significativas en su contenido de Zinc ($p \geq 0,05$), siendo por lo tanto una variable que no va a interferir con la composición nutricional de los mismos y ello obedece a la falta de diferencias genéticas entre genotipos; situación que contrasta con lo reportado por Carvalho et al. (2012). Pero estos contenidos de zinc fueron mayores que los informados en 155 cultivares pertenecientes a la colección de fríjol común de Portugal (Pinheiro et al., 2010) e inferiores a los cultivares BIO-101 y BIO 107 desarrollados por el CIAT para hierro (82 ppm) y ligeramente superiores en zinc (43 ppm), que pertenece a la especie *Phaseolus vulgaris* (CIAT, 2016).

Como ocurre con el hierro, la absorción del zinc de la dieta se puede inhibir por constituyentes de los alimentos como fitatos, oxalatos y taninos (Lathan, 2002); por lo que, resulta de gran importancia disminuir la cantidad de estos antinutrientes y mejorar la calidad del zinc por medio de la mejora genética, a través de la introgresión de genes que mejoren su acumulación en las semillas y evitando así, problemas de salud como los antes mencionados.

Se encontraron diferencias altamente significativas en el contenido de ácido fítico entre los ocho cultivares de fríjol caupí ($p \leq 0,01$) y el control Criollo Córdoba, lo que obedece a las diferencias genéticas de al menos un cultivar con relación al conjunto de genotipos evaluados, así concuerda con lo reportado por Carvalho et al. (2012), sobre que muchas de estas variaciones (intencionadas o no) pueden ser generadas por mejoramiento genético convencional, con la finalidad de atender las necesidades nutricionales de los países en desarrollo. La variación en el contenido de este antinutriente muestra la posibilidad de promover nuevas líneas de mejoramiento que tengan una cantidad reducida de este componente, mejorando así la capacidad de absorción de los nutrientes zinc, hierro y calcio por parte del consumidor de fríjol caupí. Los registros de ácido fítico que se obtuvieron (9,63 a 12,27 mg/g) fueron ligeramente superiores a los reportados por Brigide y Canniatti-Brazaca (2006) con valores encontrados entre 8,40 a 9,92 mg/g, y a los obtenidos por Martínez-Meyer et al. (2013) en *Phaseolus vulgaris* (8,86 y 9,62 mg/g); pero fueron menores a los mostrados en varios estudios cuyos valores estuvieron entre 16,05 a 20,61 mg/g (Oluwatosin, 1999), de 115,1 a 210,0 mg/g en cultivares de *Vigna unguiculata* (Giami et al., 2001) y de 14 mg/g en harina de frijol caupí (Sreerama et al., 2012). Por lo tanto, los registros del estudio se consideran bajos y permiten mejorar la biodisponibilidad de los minerales y digestibilidad de las proteínas; así como agente antioxidante y anticancerígeno (Sreerama et al., 2012), corroborando la influencia de factores genéticos y ambientales en su expresión. Asimismo, los fitatos pueden ser reducidos con el remojo, debido en parte a la hidrólisis del hexafosfato de inositol en penta y tetrafosfato (Lara-Flores et al., 2007); la disminución del ácido fítico, es mucho mayor con agua destilada que con agua salina, como lo reportaron Kalpanadevi y Mohan (2013). En los valores medios obtenidos (Cuadro 3),

el testigo Criollo Córdoba mostró el mayor valor con $12,26 \pm 2,15$ mg/g, lo que, se traduce en una reducción de la biodisponibilidad de los minerales y la inhibición de la digestibilidad de las proteínas (López et al., 2002).

El test de medias mostró que, de las muestras analizadas, los genotipos L001, L014, L006, L034, L019 y L042 fueron los que presentaron un menor contenido de ácido fítico, destacándose el cultivar L042 que reportó el nivel significativamente más bajo, comparado con los reportados por los cultivares Criollo Córdoba, L047 y L020. Estos valores fueron similares a los reportados por Deol y Bains (2010), después de someter cultivares de frijol caupí a dos métodos de cocción por tres tiempos.

Conclusiones

El ácido fítico contenido en las semillas de los ocho cultivares seleccionados resultó inferior al testigo Criollo Córdoba, destacándose los genotipos L014, L006, L034, L019 y L042 con un valor inferior a 10 mg/g, lo que es una ventaja nutricional, que favorece la absorción de minerales y mejora los indicadores bioquímicos relacionados con el hierro y zinc.

De cuantificación del porcentaje de proteína de los 43 genotipos de frijol caupí obtenidos del Programa de Mejoramiento Genético de la Universidad de Córdoba, destacaron los cultivares LCPM35, L047 y L042, que por su alto contenido ($26,90\% \pm 1,76$, $26,76\% \pm 1,07$ y $26,76\% \pm 1,64$ respectivamente), superaron al material de origen Criollo Córdoba.

El análisis de minerales de los 43 genotipos mejorados de frijol caupí, mostró que el genotipo L042 contenía mayor cantidad de hierro, el testigo Criollo Córdoba el de fósforo. El contenido de zinc no mostró diferencias significativas entre los genotipos evaluados, pero sus valores demostraron un gran aporte al valor diario recomendado de este mineral.

Literatura citada

- Angyal, S.J., and A.F. Russell. 1969. Ciclitols. XXVIII. Methyl esters of inositol phosphates. The structure of phytic acid. *Aust. J. Chem.* 22:383-390. doi:10.1071/CH9690383
- AOAC (Association Official Analytical Chemists). 2012. *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists International*. 19th ed. AOAC Int., Gaithersburg, MD, USA.
- Antova, G., T. Stoilova, and M. Ivanova. 2014. Proximate and lipid composition of cowpea (*Vigna unguiculata* L.) cultivated in Bulgaria. *J. Food Compos. Anal.* 33:146-152. doi: 10.1016/j.ffca.2013.12.005
- Avanza, M., B. Acevedo, M. Chaves, and M. Añón. 2013. Nutritional and anti-nutritional components of four cowpea varieties under thermal treatments: Principal component analysis. *Food Sci. Technol.* 51:148-157. doi:10.1016/j.lwt.2012.09.010
- BID (Banco Interamericano de Desarrollo). 2011. *Caribe sin hambre: Informe final*. BID, Barranquilla, COL.
- Brigide, P., and S.G. Canniatti-Brazaca. 2006. Antinutrients and "in vitro" availability of iron in irradiated common beans (*Phaseolus vulgaris*). *Food Chem.* 98:85-89. doi:10.1016/j.foodchem.2005.05.054
- Cairo, G., S. Recalcati, A. Pietrangelo, and G. Minotti. 2002. The iron regulatory proteins: targets and modulators of free radical reactions and oxidative damage. *Free Radic. Biol. Med.* 32:1237-1243. doi:10.1016/S0891-5849(02)00825-0
- Carvalho, A.F., N. de-Sousa, D.F. Farias, L.C. da-Rocha-Bezerra, R.M. da-Silva, M. Viana, S. Gouveia, S. Sampaio, M. de-Sousa, G.P. de-Lima, S. de-Morais, C. Barros, and F. Freire-Filho. 2012. Nutritional ranking of 30 Brazilian genotypes of

- cowpeas including determination of antioxidant capacity and vitamins. *J. Food Compos. Anal.* 26:81-88. doi:10.1016/j.jfca.2012.01.005
- Chaparro, S.P., I.D. Aristizábal, y J.H. Gil. 2009. Composición y factores antinutricionales de las semillas del género mucuna. *Rev. Fac. Nac. Agro. Medellín.* 62:4843-4853.
- Chen, P.S., T.Y. Toribara, and H. Warner. 1956. Microdetermination of phosphorus. *Anal. Chem.* 28:1756-1758. doi:10.1021/ac60119a033
- CIAT. 2016. Lanzan nuevas variedades de frijol para mejorar la alimentación de los colombianos y responder al cambio climático. CIAT, COL. <http://blog.ciat.cgiar.org/es/lanzan-nuevas-variedades-de-frijol-para-mejorar-la-alimentacion-de-los-colombianos-y-responder-al-cambio-climatico/> (consultado 27 junio 2017).
- Cruz, G.A., M.G. Oliveira, C.V. Pires, M.R. Gomes, N.M. Costa, M.H. Brumano, and M.A. Moreira. 2003. Protein quality and *in vivo* digestibility of different varieties of bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Braz. J. Food Technol.* 6:157-162.
- DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística). 2016. Pobreza monetaria y multidimensional en Colombia 2016. DANE, COL. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/pobreza-y-condiciones-de-vida/pobreza-y-desigualdad/pobreza-monetaria-y-multidimensional-en-colombia-2016> (consultado 24 mayo 2017).
- Deol, J.K., and K. Bains. 2010. Effect of household cooking methods on nutritional and anti-nutritional factors in green cowpea (*Vigna unguiculata*) pods. *J. Food Sci. Technol.* 47:579-581. doi:10.1007/s13197-010-0112-3
- FAO. 2013. Estadísticas de producción de cultivos. <http://faostat.fao.org/> (consultado 24 jul. 2016).
- Fischer, C.L., M. Ezzati, and R.E. Black. 2009. Global and regional child mortality and burden of disease attributable to zinc deficiency. *Eur. J. Clin. Nutr.* 63:591-597. doi:10.1038/ejcn.2008.9
- Frota, K., R.A. Soares, e J.A. Arêas. 2008. Composição química do feijão caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp), cultivar BRS-Milênio. *Ciênc. Tecnol. Aliment.* 28:470-476. doi:10.1590/S0101-20612008000200031
- Giami, S.Y. 2005. Compositional and nutritional properties of selected newly developed lines of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). *J. Food Compos. Anal.* 18:665-673. doi:10.1016/j.jfca.2004.06.007
- Giami, S.Y., M.O. Akusu, and J.N. Emelike. 2001. Evaluation of selected food attributes of four advanced lines of ungerminated and germinated Nigerian cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). *Plant Foods Hum. Nutr.* 56(1):61-73. doi:10.1023/A:100818041
- Gupta, P., R. Singh, S. Malhotra, K.S. Boora, and H.R. Singal. 2010. Characterization of seed storage proteins in high protein genotypes of cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. *Physiol. Mol. Biol. Plants* 16:53-58. doi:10.1007/s12298-010-0007-9
- Harland, B.F., and D. Oberleas. 1977. A modified method for phytate analysis using an ion-exchange procedure: application to textured vegetable proteins. *Cereal Chem.* 54:827-832.
- Haas, J.D., J.L. Beard, L.E. Murray-Kolb, A.M. del-Mundo, A. Felix, and G.B. Gregorio. 2005. Iron-biofortified rice improves the iron stores of non-anemic Filipino women. *J. Nutr.* 135:2823-2830.
- Hortwitz, W. 1982. Evaluation of analytical methods used for regulation of foods and drugs. *Anal. Chem.* 54:67A-76A. doi:10.1021/ac00238a002
- Iqbal, A., I.A. Khalil, N. Ateeq, and M.S. Khan. 2006. Nutritional quality of important food legumes. *Food Chem.* 97:331-335. doi:10.1016/j.foodchem.2005.05.011
- Kalpanadevi, V., and V.R. Mohan. 2013. Effect of processing on antinutrients and *in vitro* protein digestibility of the underutilized legume, *Vigna unguiculata* (L.) Walp subsp. *unguiculata*. *Food Sci. Technol.* 51:455-461. doi:10.1016/j.lwt.2012.09.030
- King, J.C., D.M. Shames, and L.R. Woodhouse. 2000. Zinc homeostasis in humans. *J. Nutr.* 130:1360S-1366S.

- Lathan, M.C. 2002. Nutrición humana en el mundo en desarrollo. Colección FAO: Alimentación y nutrición N° 29. FAO, Roma, ITA.
- Lara-Flores, M., S.G. Granados-Puerto, L. Olivera-Castillo, F.E. Pereira-Pacheco, R.E. del-Río-Rodríguez, and M.A. Olvera-Novoa. 2007. Nutritional evaluation of treated X'pelon seed (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) in the feeding of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Anim. Feed Sci. Technol. 138:178-188. doi:10.1016/j.anifeedsci.2007.06.023
- López, H.W., F. Leenhardt, C. Coudray, and C. Remesy. 2002. Minerals and phytic acid interactions: is it a real problem for human nutrition? Int. J. Food Sci. Technol. 37:727-739. doi:10.1046/j.1365-2621.2002.00618.x
- Martínez, B., M.V. Ibañez, y F. Rincón. 2002. Ácido fítico: aspectos nutricionales e implicaciones analíticas. Arch. Lat. Nutr. 52:219-231.
- Martinez-Meyer, M.R., A. Rojas, A. Santanen, and F.L. Stoddard. 2013. Content of zinc, iron and their absorption inhibitors in Nicaraguan common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). Food Chem. 136:87-93. doi:10.1016/j.foodchem.2012.07.105
- Meenakshi, J.V., N.L. Johnson, V.M. Manyong, H. DeGroot, J. Javelosa, D.V. Yanggen, F. Naher, C. Gonzalez, and E. Meng. 2010. How cost-effective is biofortification in combating micronutrient malnutrition? An ex ante assessment. World Dev. 38:64-75. doi:10.1016/j.worlddev.2009.03.014
- Ministerio de la Protección Social, e Instituto Colombiano de Protección Familiar. 2011. Encuesta nacional de la situación nutricional en Colombia 2010. Ministerio de Salud y Protección Social, COL. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/ED/GCFI/Base%20de%20datos%20ENSIN%20-%20Protocolo%20Ensin%202010.pdf> (consultado 24 mayo 2017).
- Mitchikpe, E.C., R. Dossa, E.A. Ategb, J. van-Raaij, P. Hulshof, and F. Kok. 2008. The supply of bioavailable iron and zinc may be affected by phytate in Beninese children. J. Food Compos. Anal. 21:17-25. doi:10.1016/j.jfca.2007.06.006
- Oluwatosin, O.B. 1999. Genotype x environment influence on cowpea (*Vigna unguiculata* (L) Walp) antinutritional factors: 1- Trypsin inhibitors, tannins, phytic acid and haemagglutinin. J. Sci. Food Agric. 79:265-272. doi: 10.1002/(SICI)1097-0010(199902)79:2<265::AID-JSFA191>3.0.CO;2-Z
- Opong-Konadu, E.Y.R., H.K Akromah, A. Dapaah, and E. Okai. 2005. Genetic diversity within ghanaiian cowpea germplasm based on sds-page of seed protein. Afr. Crop Sci. J. 13:117-123. doi:10.4314/acsj.v3i2.27852
- Otten, J., J. Ptizi, and L. Meyers. 2006. Dietary Reference Intakes: The essential guide to nutrient requirements. The National Academies Press, WA, USA. https://www.nal.usda.gov/sites/default/files/fnic_uploads/DRIEssentialGuideNutReq.pdf (accessed 24 May 2017).
- Pinheiro, C., J.P. Baeta, A.M. Pereira, H. Domingues, and C.P Ricardo. 2010. Diversity of seed mineral composition of *Phaseolus vulgaris* L. germplasm. J. Food Compos. Anal. 23:319-325. doi:10.1016/j.jfca.2010.01.005
- Prada, G.E., A. Soto, y O.F. Herrán. 2005. Consumo de leguminosas en el departamento de Santander, Colombia 2000-2003. Arch. Latinoam. Nutr. 55:64-70.
- Rangel, A., K. Saraiva, P. Schwengber, M.S. Narciso, G.B. Domont, S.T. Ferreira, and C. Pedrosa. 2004. Biological evaluation of a protein isolates from cowpea (*Vigna unguiculata*) seeds. Food Chem. 87:491-499. doi:10.1016/j.foodchem.2003.12.023
- SAS. 2007. SAS/STAT guide for personal computers. version 9.1 ed. SAS Institute, Cary, NC, USA.
- Shim, S.I., W.J. Jun, and B.H. Kang. 2003. Evaluation of nutritional and antinutritional components in Korean wild legumes. Plant. Foods Human. Nutr. 58(3):1-11. doi:10.1023/B:QUAL.0000041166.10069.6f
- Singh, S., S.S. Kundu, A.S. Negi, and P.N. Singh. 2006. Cowpea (*Vigna unguiculata*) legume grains as protein source in the ration of growing sheep. Small Rum. Res. 64:247-254. doi:10.1016/j.smallrumres.2005.04.022

- Singh, P., S. Prasad, and W. Aalbersberg. 2016. Bioavailability of Fe and Zn in selected legumes, cereals, meat and milk products consumed in Fiji. *Food Chem.* 207:125-131. doi:10.1016/j.foodchem.2016.03.029
- Sreerama, Y.N., V.B. Sashikala, V.M. Pratape, and V. Singh. 2012. Nutrients and antinutrients in cowpea and horse gram flours in comparison to chickpea flour: Evaluation of their flour functionality. *Food Chem.* 131:462-468. doi:10.1016/j.foodchem.2011.09.008
- Tucuch-Cauich, C.A., S.A. Rodríguez-Herrera, M.H. Reyes-Valdés, J.M. Pat-Fernández, F.M. Tucuch-Cauich, y H.S. Córdova-Orellana. 2011. Índices de selección para producción de maíz forrajero. *Agron. Mesoam.* 22:123-132. doi:10.15517/am.v22i1.8676
- Vargas, Y.R., O.E. Villamil, E. Murillo, W. Murillo, y J.F. Solanilla. 2012. Caracterización fisicoquímica y nutricional de la harina de frijol caupí (*Vigna unguiculata* (L). cultivado en Colombia. *Vitae* 19:320-321.
- Vasconcelos, I.M., F.M. Machado-Maia, D.F. Farias, C.C. Campello, A.F. Urano-Carvalho, R. de-Azevedo-Moreira, and J.T. Abreu-de-Oliveira. 2010. Protein fractions, amino acid composition and antinutritional constituents of high-yielding cowpea cultivars. *J. Food Compos. Anal.* 23:54-60. doi:10.1016/j.jfca.2009.05.008
- Wang, N., and J.K. Daun. 2004. Effect of variety and crude protein content on nutrients and certain antinutrients in field peas (*Pisum sativum*). *J. Sci. Food Agric.* 84:1021-1029. doi:10.1002/jsfa.1742