

INVESTIGACIÓN

Evaluación agronómica y sensorial de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) mejorado nutricionalmente en el norte del departamento del Cesar, Colombia

PERSPECTIVAS EN NUTRICIÓN HUMANA
ISSN 0124-4108 Vol. 13 No. 2 Julio-Diciembre de 2011
Universidad de Antioquia. Medellín. Colombia págs. 161-177

Artículo recibido: 16 de abril de 2011
Aceptado: 28 de octubre de 2011

Adriana Tofiño¹; Rodrigo Tofiño²; Diana Cabal³; Aslenis Melo⁴; William Camarillo⁴; Helena Pachón⁵

Resumen

Objetivo: evaluar las características agronómicas y sensoriales de varios genotipos de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) biofortificado, con respecto a un tradicional, para seleccionar el de mejores posibilidades de adopción. **Materiales y métodos:** el estudio se desarrolló en el Cesar (Colombia) y comprendió tres fases: 1) evaluación de la aceptación de semillas de 35 líneas de frijol biofortificado por 331 productores y consumidores, 2) evaluación agronómica y nutricional, de las nueve líneas mejor calificadas y 3) evaluación sensorial por 273 personas comparativamente con un testigo regional. A los cuatro genotipos con mejores resultados agronómicos y nutricionales se les aplicaron pruebas de aceptabilidad, al mejor valorado, además pruebas de preferencia y discriminación triangular. **Resultados:** los de mejor aceptación por tipo de semilla fueron dos genotipos de cada color: negro, crema, rojo y rosado moteado. Los cuatro con mejor rendimiento, sanidad, contenidos de hierro y zinc incluyeron un genotipo de cada color; frente a un patrón local no presentaron diferencias de aceptabilidad por olor, color y sabor ($p > 0,05$), pero sí por textura y consistencia ($p < 0,05$) a favor de los biofortificados, sobresaliendo el negro. Con este último y el patrón local se preparó una receta, los evaluadores discriminaron entre los dos y hubo diferencias en la aceptabilidad de algunas características sensoriales, a favor del biofortificado. **Conclusión:** los genotipos de frijol biofortificado presentaron mejor

¹ Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). Codazzi-Colombia. atofino@corpoica.org.co

² Universidad de Santander (UDES). Valledupar-Colombia.

³ Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) Regional Cesar. Valledupar-Colombia.

⁴ Universidad Popular del Cesar (UPC). Valledupar-Colombia.

⁵ Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Palmira-Colombia.

Como citar este artículo. Tofiño A, Tofiño R, Cabal D, Melo A, Camarillo W, Pachón H. Evaluación sensorial de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) mejorado nutricionalmente en el norte del departamento del Cesar, Colombia. *Perspect Nutr Humana*. 2011;13:161-177.

Evaluación agronómica y sensorial de frijol biofortificado

rendimiento, sanidad, contenidos de hierro y zinc que el patrón local, los cuatro mejor valorados presentaron algunas diferencias sensoriales frente al testigo, a favor de los biofortificados, sobresaliendo el genotipo negro.

Palabras clave: frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), alimentos fortificados, análisis de alimentos, evaluación sensorial, evaluación agronómica, satisfacción de los consumidores, preferencias alimentarias.

Agronomic and sensory evaluation of nutritionally improved beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in northern Cesar department, Colombia

Abstract

Objective: agronomic and sensory evaluation of nutritionally enhanced beans and a traditional bean was completed to determine the genotype most likely to be adopted. **Materials and methods:** the study was completed in Cesar (Colombia), and comprised three phases: 1) evaluation of the acceptance of 35 biofortified bean seeds by 331 bean producers and consumers, 2) agronomic and nutritional evaluation of the eight highest rated beans, and 3) sensorial evaluation by 273 persons in comparison with a regional bean. The four genotypes with the best agronomic and nutritional results were evaluated with acceptability tests, and for the best rated, preference tests and triangular discrimination were also applied.

Results: the most accepted seeds were two each of the following colors: black, cream, red and pink striped. The four best beans with respect to yield, food safety, and iron and zinc contents included a genotype of each color. Compared with a local bean, the four had the same acceptability scores for smell, color and taste ($p > 0.05$), and different scores for texture and consistency ($p < 0.05$), favoring the biofortified beans, and the black line in particular. With the black bean and a local bean, a recipe was prepared. Evaluators discriminated between the two beans and there were differences in the acceptability of certain sensory characteristics in favor of the biofortified line. **Conclusion:** biofortified bean genotypes showed better yield, food safety, and iron and zinc content than the local bean. The four best presented some sensorial differences compared to the control, in favor of the biofortified bean, and specifically the black genotype.

Key words: beans (*Phaseolus vulgaris* L.), food fortified, food analysis, sensory evaluation, consumer satisfaction, food preferences.

INTRODUCCIÓN

La deficiencia de micronutrientes constituye un problema de salud pública en los países en desarrollo. En el mundo la carencia nutricional más frecuente es la de hierro, manifestada por anemia, que afecta a 1,9 millones de la población mundial (1): en Colombia la padecen 27,5% de los niños en edad preescolar, 17,9% de mujeres gestantes y 7,6 de mujeres en edad fértil (2). En el departamento del Cesar, 34,3% de los niños de 1-4 años presentan

anemia (2), problema acompañado de desnutrición crónica entre los residentes en los municipios donde se desarrolló el presente estudio, cuyas prevalencias son de 16,8% en Valledupar, 21,1% en La Paz, 19,9% en San Diego, 22,8% en Becerril y 21,8% en Codazzi, cifras superiores al promedio nacional (15,9%) (2). Otro problema nutricional con gran prevalencia mundial es la deficiencia de zinc, cerca de la tercera parte de la población mundial reside en regiones con alto riesgo de deficiencia del mismo (3), por lo que el International Zinc Nutrition Consultative

Group (IZINCG) recomienda a todos los países monitorear su deficiencia (4). La ENSIN 2010 reveló que 57,0% de la población de 1-4 años, habitantes de la subregión compuesta por los departamentos de Guajira, Cesar y Magdalena, tienen valores séricos bajos de este mineral (2).

La biofortificación de alimentos es una estrategia útil en la prevención y manejo de las deficiencias de micronutrientes, especialmente cuando se trata de alimentos con alto consumo en la comunidad, como es el caso de las leguminosas entre las que se destaca el frijol común (*Phaseolus vulgaris* L), que constituye la mayor fuente vegetal de hierro, zinc y proteínas en muchos países del mundo, incluyendo los de los continentes de África y Latinoamérica, con una producción anual de 8,5 millones de toneladas del grano seco en los países en vías de desarrollo (5). El consumo aparente de frijol seco en Colombia durante 2009 fue 2,8 kg per cápita al año, mayor en el área rural que en la urbana (6). Este alimento forma parte de la dieta básica de los productores rurales y de la población con niveles 1 y 2 del Sisben, residentes en las cabeceras municipales del norte del departamento del Cesar (7). En este departamento no se siembran variedades mejoradas de frijol, se privilegian los cultivares conocidos como “chileno” de grano rosado con tamaño de semilla grande (52 g/100 semillas); el tipo caraota de grano negro con semilla de tamaño mediano (33 g/100 semillas) y el frijol caupí o “cabecita negra” de grano blanco con el contorno del hilum negro (25 g/100 semillas), que aunque pertenece a la especie *Vigna unguiculata*, en la región se asocia con frijol común y se consume de manera similar (8).

El centro de origen y domesticación del frijol común (*Phaseolus vulgaris*) incluye la región andina de suramérica y mesoamérica, desde el norte de Chile hasta el trópico de cáncer en México. La diversidad genética de los acervos en frijol común está representada por semillas grandes del germoplasma

andino y semillas pequeñas a medianas del mesoamericano (9). En Colombia se ha caracterizado nutricionalmente el germoplasma de frijol como el estudio del contenido de hierro y zinc en más de 2.000 variedades, con la identificación de genotipos que contienen dos veces más hierro y 40% más de zinc que el frijol común (10). Varios estudios resaltan la importancia de los programas de biofortificación en frijol y la evaluación participativa de líneas avanzadas en diferentes condiciones ambientales en los países consumidores de frijol. En 2010 se liberaron en Zimbabue y Malawi variedades de frijol con más contenido de hierro y zinc (11) y actualmente en Colombia se desarrollan pruebas de eficiencia agronómica con frijol NUA 35 (12); particularmente en el departamento del Cesar se desarrollan pruebas de adaptación de otras líneas de frijol biofortificado con alto contenido de los micronutrientes en mención (8). Sin embargo, la aceptación de los alimentos por los consumidores está muy relacionada con la percepción sensorial de los mismos, y es común que existan algunos altamente nutritivos, con baja aceptación por los consumidores (13). Consecuentemente, en México, para la liberación de la variedad de frijol negro Guanajuato, se involucraron variables de rendimiento agronómico y tipo de grano aceptado por los consumidores (14). De igual forma, en Panamá, se consideraron criterios agronómicos y nutricionales en la selección de materiales biofortificados promisorios (15); mientras que en Cuba, se involucraron criterios de consumo como color de grano, forma, sabor y tiempo de cocción (16).

Debido al arraigo cultural de las comunidades por los cultivares tradicionales de frijol, se hace necesario un proceso participativo intenso que incluya la valoración de las características agronómicas, nutricionales y sensoriales, para favorecer la adopción de nuevas variedades con mayor contenido nutricional y alto rendimiento (10). Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar la aceptabilidad del grano y las características agronómicas y sensoria-

les de un grupo de genotipos de frijol biofortificado, con respecto al grano tradicional, para seleccionar el genotipo con mejores posibilidades de adopción como variedad comercial.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio comprendió varias fases: la primera fue la evaluación de la aceptación de 35 líneas de frijol biofortificado, por parte de productores y consumidores del grano. La segunda fase consistió en la evaluación agronómica y nutricional, de las nueve líneas calificadas con mayor puntaje en la primera fase, la tercera fue la evaluación sensorial de una misma receta de frijol elaborada con las cuatro variedades biofortificadas que presentaron los mejores indicadores (rendimiento, sanidad y contenido nutricional), con respecto a un testigo regional.

Lugar donde se realizó el estudio

La primera fase o evaluación de la aceptabilidad del tipo de grano de 35 líneas avanzadas de frijol biofortificado se realizó con 151 productores y 180 consumidores de frijol común y caupí (*Vigna unguiculata*) en los municipios de Valledupar, La Paz, San Diego, Becerril y Codazzi, entre julio del 2010 y febrero del 2011. Para la segunda fase o evaluación agronómica y la producción de semilla usadas en las pruebas sensoriales se escogieron tres localidades: 1) Valledupar, corregimiento de Mariangola, vereda El Descanso, ubicada a 900 msnm y 20-25°C; 2) el municipio de La Paz, con temperatura promedio de 28 °C, corregimiento San José de Oriente, vereda Nuevo Oriente, ubicado a 800 msnm y 3) el casco urbano del municipio de Pueblo Bello, latitud Norte 10° 25', longitud Oeste 73° 34', ubicado a 1200 msnm y 19 °C. Finalmente, la evaluación sensorial se realizó con 273 productores y consumidores de la zona urbana y rural del municipio de Valledupar, ubicado en los 10° 29' de latitud Norte y 73° 15' de longitud Oeste, 169 msnm y de 32°C en promedio.

Primera fase: evaluación de aceptabilidad de 35 líneas de frijol biofortificado y hábitos de consumo de frijol

Se realizó un estudio descriptivo para obtener información sobre la preferencia de siembra, principales formas de producción, área que dedican a este cultivo dentro de la finca, consumo promedio semestral de frijol por familia y forma de consumo del grano, lo mismo que la preferencia en color y tamaño de las 35 líneas de frijol suministradas a Corpoica, por el Programa de mejoramiento de frijol del CIAT.

La muestra poblacional encuestada en la zona rural correspondió a los beneficiarios del proyecto "Implementación del cultivo de frijol biofortificado en los focos productivos de frijol tradicional del departamento como estrategia nutricional en el programa de seguridad alimentaria del Cesar (8)", que busca la adopción de nuevos materiales de frijol biofortificado, por los productores de frijol común en zona de ladera del departamento del Cesar. Los beneficiarios se seleccionaron por las Unidad Municipal de Asistencia Técnica Agropecuaria (Las Umatas) de cada municipio, de acuerdo con el registro histórico de siembra continuada de frijol en el predio.

La unidad de muestreo la constituyó cada familia del productor beneficiario del programa antes mencionado, el instrumento de medición fue un cuestionario en el que se combinaron preguntas abiertas y cerradas, evitando la contaminación o sesgo que el orden de las mismas pudiera ejercer en las respuestas del informante. El cuestionario fue aplicado por encuestadores debidamente entrenados y estandarizados, además se acompañó de una tableta con semillas de las 35 líneas de frijol biofortificado y el testigo regional tipo caraota, para la evaluación visual de preferencia de grano. Las características del grano del grupo biofortificado eran muy variables, de pequeño a mediano y peso de 100 semillas entre 20 y 33 g, colores negro, rojo, crema y rosado moteado.

Los hábitos de consumo fueron evaluados por 331 personas en total pues además de los 151 productores de frijol, se incluyeron 180 personas adultas de la zona urbana de seis municipios del norte del Cesar, seleccionados aleatoriamente y a quienes se encuestó sobre la preferencia de grano y hábitos de consumo. Se priorizaron las respuestas numéricas simples, especialmente en la frecuencia de consumo, en la que se indicó que se contabilizarían el número de raciones semanales consumidas por el grupo familiar, indiferentemente si se ingirieron durante el desayuno, almuerzo o comida. En el estudio, se indagó por la forma en que se incluía el frijol en preparaciones en las que este grano fuera el ingrediente principal y de mayor proporción. Teniendo en cuenta la enorme diversidad de formas de preparación del grano en la región (molidos: empanadas, arepas; otros: helados, jugo, dulce), se decidió incluir como opciones de respuesta los descriptores, enteros, molidos y otros.

Segunda fase: evaluación agronómica y nutricional de ocho líneas de frijol biofortificado

A partir de la evaluación de la aceptabilidad de las 35 líneas de frijol biofortificado realizada en la primera fase, se hizo una clasificación en función de los siguientes vectores: el que tuvo mayor peso fue la aceptación del grano por color y tamaño obtenido, para garantizar la comercialización de los biofortificados (4 puntos); el rendimiento fue el segundo criterio, pues si la producción no superaba la del testigo regional, la sustitución de los cultivares no sería efectiva (3 puntos); la calidad nutricional fue el tercer criterio dado que los datos de pasaporte de los biofortificados indicaban contenido nutricional elevado para las 35 líneas (2 puntos), y la aceptabilidad por las características sensoriales constituyó el último criterio de selección para identificar los posibles genotipos a liberar como variedad comercial (2 puntos). A partir de dicha calificación, se seleccionaron ocho genotipos para la evaluación

agronómica y nutricional. Los nueve genotipos biofortificados priorizados incluyeron los dos mejores genotipos por tipo de semilla (negro, crema, rojo y rosado moteado).

Los nueve genotipos biofortificados y el testigo local (cultivar tipo caraota arbustivo de grano negro), se evaluaron participativamente con 100 productores en tres fincas, por agrónomos de Corpoica, Estación Experimental Motilonia, en las tres localidades antes mencionadas. Se sembraron con tres repeticiones en bloques completos al azar. Se analizaron los indicadores de rendimiento como producción de grano, número de vainas por planta, peso de 1.000 semillas y el estado fitosanitario como presencia de enfermedades y plagas. La evaluación del rendimiento se realizó participativamente mediante dos días de campo. Posteriormente, se socializaron los resultados de los análisis de hierro y zinc, obtenidos durante el primer semestre del 2010.

El análisis nutricional consistió en la cuantificación de las cantidades de hierro, proteína y zinc, para ello se tomaron 100 g de semilla de frijol seco entero de cada genotipo, cosechados en Valledupar, y se enviaron al laboratorio del CIAT donde se realizaron las determinaciones.

Evaluación sensorial

De los ocho biofortificados evaluados en la segunda fase, se seleccionaron los cuatro que obtuvieron las mejores calificaciones en las variables de rendimiento, sanidad y contenido nutricional conjuntamente con el testigo regional, para la evaluación sensorial.

Prueba de aceptabilidad

Se realizó con 273 personas distribuidas así: 75 niños y 173 adultos miembros de las comunidades vulnerables correspondientes a 80 padres de familia, de la escuela Villa Yaneth, residentes en la zona urbana, cinco docentes de la Institución y 88 individuos de la comunidad rural de la vereda El

Evaluación agronómica y sensorial de frijol biofortificado

Descanso; adicionalmente participaron 25 panelistas ingenieros de alimentos, no entrenados como jueces en evaluación sensorial.

Dado que la forma de consumo más utilizada por los encuestados fue el frijol con arroz, por ello se escogió esta preparación para las pruebas de aceptabilidad. La receta por ración se realizó a partir de frijol seco, crudo, al 12% de humedad y peso neto de la siguiente forma: 25 g de arroz, 50 g de frijol, 2,5 g de zapallo, 0,5 g de cebolla de rama, 125 g de agua y una alícuota de sal. El tamaño por porción y la proporción de ingredientes utilizados en la receta, se obtuvo del promedio de la información suministrada en 50 predios de productores, visitados durante el estudio en los días en los que consumían frijol. No se ajustaron los tamaños de la porción por edad, porque las familias encuestadas no hacían diferenciación entre los niños y los adultos en la cantidad servida de la preparación.

La prueba de aceptabilidad se realizó de acuerdo con la siguiente metodología: en los niños se aplicó una escala hedónica representada por caritas con cuatro criterios (no me gusta mucho, no me gusta, me gusta y me gusta mucho) (17-18).

En la prueba aplicada a los adultos de la comunidad e ingenieros de alimentos, se evaluaron tres características: consistencia, sabor y textura. Se les pidió que dieran una calificación de 1 a 5, siendo 5 el mejor. Adicionalmente, a los ingenieros de alimentos, debido su formación, se les solicitó la evaluación de subcategorías de textura y sabor.

Al grupo de panelistas se les solicitó que además de las características evaluadas por los otros grupos describieran subcategorías (i.e., consistencia del caldo: espesa, aguada, cremosa; sabor: agradable, desagradable; textura de grano: cáscara fibrosa, duro, blando). De acuerdo con Otzoy y colaboradores (19), son criterios de evaluación del grano para sabor, olor y color los términos agradable y desagradable,

en el caso de la textura y consistencia del caldo, las pruebas de aceptabilidad requieren mayor precisión debido a que estas características aportan además información sobre sólidos solubles y, por consiguiente, sobre los minerales que contienen.

Prueba de discriminación triangular

Para determinar si los ingenieros de alimentos discriminaban entre el alimento preparado con el frijol mejorado nutricionalmente (línea SMN18 de color negro) y la variedad local se aplicó la prueba discriminatoria triangular (17-18), de acuerdo con el protocolo descrito por Leyva y colaboradores (20), en el cual se evalúa una misma receta variando solo la línea de frijol. La preparación por ración se realizó de la siguiente forma: 90 g de agua, 0,5 g de cebolla, una alícuota de sal y 55 g de frijol previamente remojados por 40 minutos. Los ingredientes se sometieron a cocción en olla a presión durante 15 minutos. Con esta cantidad de ingredientes se obtuvieron las raciones de aproximadamente 5 g para los 25 panelista, es decir 125 g en cocido de la preparación. Se presentaron tres muestras: dos con el frijol tradicional de color negro y una elaborada con el biofortificado. Se les pidió que indicaran cuál de las muestras era diferente.

Prueba de preferencia

Al final de la evaluación se solicitó a los ingenieros de alimentos participantes que escogieran la muestra de potaje preferido; esto daba la posibilidad de seleccionar a uno, a los dos o a ninguno.

Selección de participantes en las pruebas sensoriales en zona urbana

Se realizó una convocatoria en la cabecera municipal de Valledupar, invitándolos a participar en el estudio sensorial, teniendo en cuenta los siguientes criterios de inclusión: consumidores habituales de frijol, no presentar algún tipo de enfermedad que los inhabilitara para el proceso de degustación o

ingesta. La metodología se aplicó para conocer las preferencias del grano de frijol para consumo en el Cesar. La información obtenida tanto en zona rural como urbana permitió definir la receta, color y tamaño del grano que se utilizaría en la prueba sensorial inicial con ingenieros de alimentos.

Análisis estadístico

En el análisis de las encuestas se calcularon los porcentajes de respuestas alternativas. Los datos de rendimiento y contenido nutricional, se analizaron mediante distribución de probabilidad por Chi-cuadrado, análisis de varianza y test de Tukey. La prueba discriminadora mediante prueba binomial de probabilidad, los datos de aceptabilidad con Chi-cuadrado y los de preferencia, por la prueba Z de proporciones. Los análisis se realizaron con el programa Stata versión 9 (Stata Corp LP 2005).

Consideraciones éticas

El estudio se desarrolló teniendo en cuenta los principios de la declaración de Helsinki (21) y fue avalado por el Comité de Ética para la Investigación Científica de la Universidad de Santander, sede Valledupar. Se informó a los participantes el objetivo de

la investigación, origen de los materiales, métodos y procedimientos seguidos durante la evaluación, carencia de riesgo para la salud de los evaluadores, beneficios futuros que tendría el consumo de materiales de frijol mejorado nutricionalmente y se consideró su participación voluntaria, a través de consentimiento verbal y escrito.

RESULTADOS

Encuesta sobre aceptabilidad de 35 líneas en la productividad regional

47% del rango de edad de los 151 productores encuestados estaba entre 31-50 años; de acuerdo al género estaba conformado por hombres (36%) y mujeres (64%) (Tabla 1). 56% de los predios visitados medían 12 o más hectáreas, de los cuales 50% tenían un área de siembra de frijol de 1-3 ha, con un promedio de producción semestral de 600 a 800 Kg de grano seco/ha, en el 74% de los productores.

La mayor frecuencia de consumo semanal con el 91%, en forma entera con arroz (98%), el encargado de la compra del alimento fue mayoritariamente el encuestado (47%), seguido de la madre o padre (27%) y solo el 20% expresó su preferencia por frijol

Tabla 1. Distribución de los productores, según edad, sexo y lugar de residencia

Característica	Categoría	Lugar de residencia					TOTAL (n=151) %
		Valledupar (n=38) %	Codazzi (n=30) %	Becerril (n=26) %	San Diego (n=27) %	La Paz (n=30) %	
Grupo de edades en años	15-20	40	0	20	0	0	12
	21-30	30	12	20	0	29	18
	31-50	22	75	20	89	29	47
	51	8	13	40	11	42	23
Sexo		100	100	100	100	100	100
	Femenino	44	38	80	100	57	64
	Masculino	56	62	20	0	43	36

Tabla 2. Características relacionadas con el consumo de frijol según lugar de residencia de los consumidores y productores

Característica	Categoría	Lugar de residencia					
		Valledupar	Codazzi	Becerril	San Diego	La Paz	Total
		(n=98)	(n=60)	(n=56)	(n=57)	(n=60)	(n=331)
		%	%	%	%	%	%
Aceptación de consumo de frijol en la zona de influencia del proyecto	sí	100	100	100	100	100	100
	no	0	0	0	0	0	0
Frecuencia de consumo de frijol	diariamente	4	0	0	0	0	1
	2 - 3 veces/sem	80	87	100	89	100	91
	mensualmente	13	13	0	0	0	5
	casi nunca	3	0	0	11	0	3
Recetas preferidas de frijol	entero	98	100	100	89	100	97
	molido	2	0	0	11	0	3
	otros	0	0	0	0	0	0
Responsabilidad de compra de frijol	Encuestado	14	38	60	56	58	45
	El cónyuge	12	25	40	33	14	25
	Padre o madre	69	37	0	0	28	27
	Otro familiar*	5	0	0	11	0	3
Preferencia por el frijol enlatado	sí	33	25	20	11	14	21
	no	67	75	80	89	86	79
Variables de selección de semilla	sabor	17	5	11	0	12	9
	color	29	34	35	47	39	37
	olor	13	6	0	5	0	5
	apariencia	24	40	54	48	39	41
	textura	14	11	0	0	0	5
	consistencia	3	4	0	0	10	3

*Hermano o hijos.

enlatados (Tabla 2). Para los productores las variables más importantes para escoger la semilla fueron la apariencia (41%), el color (37%) y el sabor (9%). Los colores de semilla de interés fueron el rosado (44%) y negro (59%). 91% de los encuestados expresó su interés por comprar semilla de mejor calidad nutricional. Los 4 genotipos de frijol biofortificado de preferencia, seleccionados por los productores a partir de características del grano, correspondieron a SMR4 (12%), SMN 18 (8%), SMC14 (8%) y SMB 17 (8%) (Tabla 3). De acuerdo con la encuesta, el

consumo semanal por familia es de 2,05 kg de frijol seco (equivalente a 4,1 kg de frijol verde crudo), lo cual corresponde a un consumo diario de 139 g/persona/día, en un núcleo familiar de 5,9 personas en promedio, que consumen frijol con una frecuencia semanal de 2,5 veces. Las familias de productores evaluadas presentaron un promedio de 5,9 individuos. Solo el 20% presentó un solo padre, mientras que las familias de zona urbana presentaron 4,5 individuos en promedio y 59% estaban conformados por un solo padre.

Tabla 3. Preferencias y hectáreas dedicadas al frijol por los productores en el norte del Cesar

Característica	Valledupar	Codazzi	Becerril	San Diego	La Paz	Total	
	(n=38)	(n=30)	(n=26)	(n=27)	(n=30)	(n=151)	
	%	%	%	%	%	%	
Preferencia productos enlatados de frijol	si	36	25	20	11	14	21
	no	64	75	80	89	86	79
Variables de selección en campo con mayor importancia en frijol	sabor	16	16	10	0	14	11
	color	29	30	30	45	28	32
	olor	12	6	0	5	0	5
	apariciencia	24	30	60	50	43	41
	textura	14	12	0	0	0	5
consistencia	5	6	0	0	15	5	
Preferencia en la coloración de semilla	negro	29	35	30	30	25	30
	rojo	8	7	5	6	6	6
	rosado	50	39	44	42	45	44
	blanco	9	17	17	16	16	15
	moteado	4	2	4	6	8	5
Preferencia en el tamaño del grano	grano grande	87	68	50	100	93	80
	grano pequeño	13	32	50	0	7	20
Área de los predios	menos de 1 ha	0	3	2	1	3	2
	1 - 3 ha	29	18	30	24	19	24
	4 - 7 ha	16	19	12	10	18	15
	8 - 11 ha	2	1	4	1	6	3
	12 o más ha	53	59	52	64	54	56
Área dedicada a frijol en la finca	menos de 1 ha	10	23	12	22	11	16
	1 - 3 ha	45	40	65	49	49	50
	4 - 7 ha	12	19	12	13	10	13
	8 - 11 ha	20	5	8	11	22	13
	12 o más ha	13	13	3	5	8	8
Preferencia de genotipos de frijol biofortificado a partir de características del grano *	SMR4	22	6	7	16	11	12
	SMR39	17	14	0	0	6	7
	SMR40	9	5	9	8	5	7
	SMR41	7	4	4	7	10	6
	SMR43	2	7	0	0	7	3
	SMN4	1	4	5	7	4	4
	SMN9	0	0	8	0	0	2
	SMN18	9	11	5	5	11	8
	SMN19	0	0	8	0	0	2
	SMC14	10	5	8	10	5	8
	SMC5	0	0	0	9	6	3
	SMC7	0	10	7	5	0	4
	SMC4	2	2	7	0	0	2
	SMB15	0	0	7	0	6	3
	SMB16	0	0	0	10	0	2
	SMB17	11	7	6	7	11	8
	RCB59	1	5	0	5	6	3
	SCR3	3	0	5	5	0	3
	SCR30	2	10	0	0	0	2
	MIB780	1	5	0	0	6	2
	DOR390	3	5	14	6	6	7

Comportamiento agronómico

Mientras que el testigo produjo 700 kg/ha, el genotipo biofortificado con el rendimiento más bajo (SMB 17) produjo 849 kg/ha (Tabla 4). El genotipo que mostró mayor vigor y desarrollo de acuerdo con la selección del 21% de los participantes en los días de campo fue el genotipo SMN18, de grano negro, resistente al virus mosaico dorado y conservó el mayor número de hojas verdes al final de la cosecha. También, presentó la tercera mejor producción experimental con 1390 kg de grano seco/ha y el mejor contenido nutricional por kg de frijol seco con 175,3 mg de hierro y 37,1 mg de zinc y 28,3% de proteína total. En cuanto a los otros dos genotipos priorizados por los productores, la línea SMR 4 produjo 1.296 kg/ha, y SMC14 1043 kg/ha. La variedad local acumuló por kg de frijol seco 29 mg/kg de hierro, 20 mg/kg de zinc y 20,5% de proteína total. Con respecto al rendimiento, a partir del criterio de confianza del 95%, se observó diferencia estadística significativa entre los valores nominales del prototipo SMC14, en comparación con los demás ($p < 0,0001$). Se observó que en el factor de zinc no hubo influencia significativa al comparar entre sí los frijoles biofortificados ($p = 0,169$), pero al comparar el grupo biofortificado con el tradicional sí se presentó discriminación ($p < 0,001$). En cuanto al contenido de hierro no se observó diferencia significativa entre los biofortificados evaluados ($p = 0,190$). Sin embargo, con respecto al testigo se diferenciaron estadísticamente ($p < 0,001$). De acuerdo con los resultados de las encuestas de aceptabilidad de grano, comportamiento agronómico y contenido de minerales, se seleccionaron para las pruebas sensoriales los genotipos SMN18, SMR 4, SMC14

y SMB17, dado que en las tres variables evaluadas se mantuvieron dentro de los cinco primeros lugares. También se incluyó el testigo negro local (Tabla 4).

Prueba de aceptabilidad

Ingenieros de alimentos. Según la caracterización descriptiva de aceptabilidad los ingenieros de alimentos lograron diferenciar los cinco tipos de frijoles. Las propiedades organolépticas que influyeron en la determinación de la aceptabilidad de los mismos fueron la consistencia del caldo ($p < 0,05$) y textura del grano ($p < 0,001$). Factores que sobresalían sensorialmente al degustar el frijol negro biofortificado. En cuanto al olor ($p = 0,47$), color ($p = 0,27$) y sabor ($p = 0,265$) no se observaron diferencias significativas. Sin embargo se observó que los productos biofortificados tuvieron buen agrado en color, olor y sabor, sobresaliendo el frijol negro biofortificado (Tabla 5).

Niños. Según la escala hedónica de aceptabilidad los niños lograron diferenciar los dos tipos de frijoles, básicamente por la textura del grano ($p < 0,001$). En cuanto al olor ($p = 0,383$), color ($p = 0,921$) y sabor ($p = 0,123$) no se observó una diferencia significativa influyente. A algunos niños no les gustó el color de ambos frijoles (Tabla 6).

Adultos. Según la escala hedónica calificativa de aceptabilidad los adultos (productores y padres de familias) diferenciaron los dos tipos de frijoles y aceptaron al producto biofortificado como el mejor sensorialmente. Básicamente debido al sabor ($p < 0,001$), textura del grano ($p = 0,01$) y consistencia ($p = 0,005$). En cuanto al olor ($p = 0,159$) y color ($p = 0,680$) no se observó diferencia significativa (Tabla 7).

Tabla 4. Comparación del comportamiento agronómico y contenido de hierro, zinc y proteína de las nueve líneas de frijol biofortificado mejor aceptadas versus el testigo

Líneas de frijol	Producción kg/ha	Aporte nutricional					Rendimiento						
		Fe mg/kg*	Zn mg/kg*	Proteína %*	Valledupar		Manauare		La Paz				
					VPP\$	PMS\$	VPP\$	PMS\$	VPP\$	PMS\$	VPP\$	PMS\$	
SCR 3	1526	74,4	25,1	23,9	17,8 ^{cd}	236,4 ^d	1769,2 ^b	26,2 ^{ab}	341,3 ^e	3160,0 ^b	18,0 ^{ab}	336,5 ^e	1692,5 ^a
SMR 4	1296	118,7	27,5	26,0	21,6 ^{cd}	185,8 ^b	1779,4 ^b	44,8 ^c	256,0 ^{de}	2657,5 ^{ab}	23,5 ^{ab}	254,3 ^{bc}	1511,2 ^a
SMR 39	962	106,1	36,7	27,2	15,8 ^{bc}	218,2 ^c	1372,6 ^{ab}	23,8 ^a	346,3 ^e	3077,5 ^b	15,3 ^a	316,5 ^{de}	1951,2 ^a
SMR 43	946	184,9	34,8	24,3	16,0 ^{bc}	176,8 ^{ab}	1188,8 ^{ab}	30,0 ^{ab}	307,8 ^{de}	2432,5 ^{ab}	23,0 ^{ab}	303,5 ^{de}	2367,5 ^a
RCB 591	974	86,08	30,0	24,1	18,8 ^{cd}	231,8 ^{cd}	2002,0 ^b	24,2 ^a	336,3 ^e	2553,7 ^{ab}	19,8 ^{ab}	311,3 ^{de}	2121,3 ^a
DOR 390	1974	101,4	29,9	24,0	23,8 ^d	159,6 ^a	2035,2 ^b	43,8 ^c	180,8 ^{ab}	2185,0 ^{ab}	28,0 ^{ab}	233,0 ^{ab}	2808,8 ^a
SMN 18	1390	175,3	37,1	28,3	18,2 ^{cd}	228,8 ^{cd}	1687,4 ^b	32,0 ^{ab}	245,0 ^{bcd}	3011,2 ^{ab}	22,5 ^{ab}	241,0 ^{ab}	2923,8 ^a
SMB 17	849	110,7	33,0	25,1	9,6 ^a	180,0 ^{ab}	613,6 ^c	34,5 ^b	195,0 ^{abc}	2625,2 ^{ab}	21,3 ^{ab}	256,0 ^{bc}	1330,0 ^a
SMC 14	1043	158,8	26,7	23,6	21,2 ^{cd}	187,4 ^b	1242,8 ^{ab}	31,7 ^{ab}	198,5 ^{abc}	1882,0 ^{ab}	24,8 ^{ab}	286,3 ^d	1762,5 ^a
Testigo	700	29,0	20,0	20,5	11,4 ^{ab}	163,4 ^{ab}	454 ^a	50,5 ^c	141,0 ^a	1341,3 ^a	29,3 ^b	201,0 ^a	1720,0 ^a
Valores de p ^t		0,19	0,169	-	0,000	0,000	0,060	0,000	0,000	0,320	0,095	0,000	0,820
Valores de p ^t		0,0001	0,0001	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,025	0,032	0,000	0,096

* Cantidad expresada por kg de frijol seco.

VPP: Vainas por planta; PMS: Peso de mil semillas (g); GPP: Gramos por parcela.

[†]Valores de p con la prueba de Chi-cuadrado para la comparación de las líneas biofortificadas.

[‡]Valores de p con la prueba de Chi-cuadrado para la comparación de las líneas biofortificadas y el testigo.

[§]Valores con letras iguales indican no diferencias significativas según test de Tukey; los valores de producción, contenido de Fe, Zn y proteína referidos en este cuadro corresponden a un promedio de las localidades por lo cual no se refieren para estas variables agrupaciones según Tukey.

Tabla 5. Porcentaje de ingenieros de alimentos que clasificaron las recetas con cuatro variedades de frijol biofortificado versus el testigo según cinco criterios de aceptabilidad

Características	Criterio de caracterización descriptivas de aceptabilidad					Valor p según Chi-cuadrado
	F. Negro Tradicional	F. Negro Biofortificado	F. Rayado Biofortificado	F. Crema Biofortificado	F. Rojo Biofortificado	
	n=25 (%)	n=25 (%)	n=25 (%)	n=25 (%)	n=25 (%)	
Consistencia del caldo						0,043
Esposa	32	20	28	21	20	
Aguada	15	5	7	11	8	
Cremosa	53	75	65	68	72	
Color						0,271
Agradable	92	95	88	90	95	
Desagradable	8	5	12	10	5	
Olor						0,47
Agradable	83	85	89	90	90	
Desagradable	10	8	6	7	9	
Indiferente	7	7	5	3	1	
Sabor						0,265
Agradable	90	97	92	91	95	
Desagradable	10	3	8	9	5	
Textura del grano						0,000
Cáscara fibrosa	20	10	25	22	15	
Duro	15	10	5	6	25	
Blando	65	80	70	72	60	

Prueba de preferencia

De las 273 personas que participaron en el estudio, 21 no indicaron una preferencia por la receta elaborada con uno u otro tipo de frijol. Todos los evaluadores (252) estuvieron de acuerdo con escoger el frijol biofortificado en vez del frijol tradicional, para utilizarlo para consumo humano ($p < 0,001$). Hubo 11 evaluadores que decidieron no comer ninguno de los dos, debido a la exclusión de otros aliños más fuertes en la receta, como ajo, ají, tomate y comino, que resaltan el sabor de la receta, pero enmascaran las posibles diferencias

en el sabor del grano, por lo cual no se incluyeron en la preparación.

Prueba de discriminación triangular

De los 25 ingenieros de alimentos que realizaron la prueba, 17 discriminaron correctamente la muestra biofortificada. Los panelistas discriminaron entre las muestras, identificando al frijol biofortificado en comparación con el tradicional, logrando diferenciarlo por todas sus características organolépticas ($p = 0,003$), especialmente debido al sabor amargo residual del frijol negro tradicional.

Tabla 6. Porcentaje de niños que clasificaron el arroz con frijol elaborado con frijol negro biofortificado versus el testigo, según cuatro criterios de aceptabilidad

Características	Criterio hedónico de aceptabilidad en niños				Valor p*
	No me gusta mucho n=75 (%)	No me gusta n=75 (%)	Me gusta n=75 (%)	Me gusta mucho n=75 (%)	
Color					0,921
Frijol negro biofortificado	20	30	50	0	
Frijol negro tradicional	22	28	50	0	
Olor					0,383
Frijol negro biofortificado	0	2	95	3	
Frijol negro tradicional	0	5	90	5	
Sabor					0,123
Frijol negro biofortificado	0	0	75	25	
Frijol negro tradicional	0	0	65	35	
Textura del grano					0,000
Frijol negro biofortificado	0	0	80	20	
Frijol negro tradicional	0	15	70	15	

* Según Chi-cuadrado.

Tabla 7. Porcentaje de adultos que clasificaron el arroz con frijol elaborado con dos variedades de frijol, según cuatro criterios de aceptabilidad

Características	Criterio calificativo de aceptabilidad en adultos*					Valor p†
	n=173					
	1 (%)	2 (%)	3 (%)	4 (%)	5 (%)	
Consistencia del caldo						
Frijol negro biofortificado	90	4	6	0	0	0,005
Frijol negro tradicional	75	15	5	5	0	
Color						
Frijol negro biofortificado	0	60	20	15	5	0,680
Frijol negro tradicional	0	58	15	15	12	
Olor						
Frijol negro biofortificado	80	16	4	0	0	0,159
Frijol negro tradicional	70	20	10	0	0	
Sabor						
Frijol negro biofortificado	95	5	0	0	0	0,000
Frijol negro tradicional	60	25	10	5	0	
Textura del grano						
Frijol negro biofortificado	70	20	10	0	0	
Frijol negro tradicional	55	18	22	5	0	0,010

* En la calificación de aceptabilidad el valor de 1 correspondía al peor y 5 al mejor.

† Según la prueba de Chi-cuadrado.

Tabla 8. Reacción de variedades de frijol a enfermedades y plagas principales

Reacción a enfermedades, plagas e insectos	SCR 3	SMR 4	SMR 39	SMR 43	RCB 591	DOR 390	SMN 18	SMB 17	SMC 14	TESTIGO
Mosaico común	O	R	R	R	O	R	R	R	R	O
Mancha angular	3	7	7	7	4	5	3	4	6	9
Bacteriosis común	7	5,2	6	5,2	6,3	6	1,9	3	3	9
Gorgojo	2	4	4	3	4	1	1	6	2	9

Para el mosaico común R significa dominante y O recesiva, para las demás se empleó una escala de 1 a 9, en la que 1 es resistente y 9 susceptible.

DISCUSIÓN

De acuerdo con la información de la Secretaría de Planeación del Cesar, 43,6% del área relativa departamental se destina a la producción agrícola y específicamente los cultivos transitorios ocupan 98.426 ha, de las cuales 6.817 estaban destinadas a la producción de frijol en el 2005 y 5.050 ha en el 2008, lo que indica la disminución significativa del área de siembra (7). La introducción de variedades de frijol con mayor adaptación a las condiciones agroecológicas podría incrementar las hectáreas destinadas a la siembra de frijol, que en promedio corresponden a 1,5 ha por familia.

El consumo de frijol en países como México y Brasil se ubica entre 12 y 15 kg/persona/año. En Colombia el consumo es de 3,86 kg/persona/año. Sin embargo, existen algunas regiones del país, como Antioquia, donde el consumo promedio puede alcanzar 12 kg/año de frijol seco (22). La población encuestada en el Cesar, en el área rural, alcanzaría una ingesta de 20 kg/persona/año de frijol seco, teniendo en cuenta un consumo de 2,5 veces a la semana, lo que indica la importancia del mejoramiento nutricional en esta especie. Con respecto al contenido nutricional, el contenido de minerales de los biofortificados en la localidad de Pueblo Bello, Cesar, supera las expectativas de biofortificación proyectadas por el Programa de mejoramiento de

frijol CIAT (10), pues algunos genotipos sobrepasaron los 100 mg/kg de Fe y 50 mg/kg de zinc; según datos obtenidos por el laboratorio de CIAT, en frijoles producidos en la localidad de Pueblo Bello, como es el caso del genotipo SMB15 con 115 mg/kg de Fe y SMR40 con 64 mg/kg de zinc. Lo anterior es indicativo del potencial nutricional de los frijoles biofortificados producidos en el Cesar.

Con respecto al rendimiento, aunque el promedio de producción en el Cesar es de 840 kg/ha (8) y el promedio nacional es de 1200 kg/ha (6), los datos presentados son experimentales y requerirían el seguimiento de la producción en fincas en años no atípicos como el 2010, en el que se presentó tanto el fenómeno climático del niño durante el primer semestre, como el de la niña durante el segundo semestre, por lo cual no se tomaron en cuenta los datos de producción en fincas en el presente estudio. Sin embargo a nivel experimental, debido probablemente a los cambios extremos de disponibilidad hídrica, el mejor de los biofortificados alcanzó 1974 kg/ha, rendimiento experimental que no iguala los topes logrados por los biofortificados en la localidad de Palmira 2351 kg/ha. Esta información fue suministrada en los datos de pasaporte que acompañaron al grupo de frijol biofortificado que se evaluaron en el Cesar. La composición química determina los rasgos sensoriales de los alimentos de origen vegetal.

La genética, los componentes ambientales y sus interacciones, determinan la composición química en el frijol común. En algunos estudios se ha referido que el mayor efecto de la localidad en la calidad nutricional del grano se ha encontrado en proteína y contenido de almidón; el efecto de la variedad se ha atribuido a las combinaciones de rasgos (sacarosa, proteína y ácido málico). Los efectos de variedad/localidad detectados en proteína, sacarosa, ácido cítrico y ácido málico se asociaron con dificultad al éxito gastronómico de una variedad en particular sembrada en una localidad específica (23). De acuerdo con lo anterior, los resultados en este estudio de las pruebas sensoriales categóricas de los cuatro genotipos evaluados no estuvieron afectados por la localidad donde se cosecharon los frijoles, y la variabilidad en la calidad sensorial evidenciada en los resultados estaría soportada en las diferencias en el origen genético de cada genotipo (Tabla 8).

En el análisis sensorial por aceptabilidad los dos grupos de evaluadores (adultos y niños) no presentaron diferencias significativas en cuanto a color y olor, pero sí en textura y consistencia, con mayor aceptación para el biofortificado, lo cual coincide con los resultados de un estudio realizado en Cuba en el que la aceptabilidad del producto biofortificado y el testigo exhibieron 35 y 31% respectivamente (16, 20). Sin embargo, contrasta con pruebas realizadas en Nicaragua, en la evaluación de tres líneas, en la cual el testigo tuvo mayor aceptación con valores de 2,99 y para las líneas de MIB entre 2,42 y 2,54 (24). Lo anterior sustenta la posibilidad de masificar este producto en la población evaluada.

Los resultados obtenidos en el presente estudio coinciden con otros realizados en Cuba, donde hubo mayor preferencia por el genotipo biofortificado respecto al testigo (20), en contraste con el realizado en Nicaragua, donde no expresaron preferencia por ningún material (23). Sin embargo, es necesario introducir en la evaluación de preferencia

visual y sensorial biofortificados similares al testigo rosado regional, dado que 75% de los encuestados prefirió la semilla rosada grande. El testigo rosado, tipo chileno, se excluyó del presente documento debido a las diferencias marcadas en la morfología de semilla con respecto al grupo de biofortificados mesoamericanos. Los genotipos biofortificados tipo NUA (andinos) son similares al testigo regional. La evaluación de tipos NUA para liberación en el Cesar requeriría un estudio específico y la colaboración de un fitopatólogo, pues los genotipos mesoamericanos presentan mayor tolerancia a plagas y enfermedades con respecto a los andinos (9). En el presente artículo se evidenció la tolerancia a los estreses bióticos del germoplasma mesoamericano evaluado, con respecto al testigo regional que presentó una mayor incidencia de plagas y enfermedades (Tabla 8).

Al igual que en los dos estudios realizados en Cuba y en una de las tres líneas evaluadas en Nicaragua, hubo discriminación del genotipo mejorado nutricionalmente con respecto al testigo (15-16,24). Es de especial consideración que el sabor del biofortificado es más suave y la cáscara de la semilla no se despega del cotiledón después de la cocción, debido a estas características los panelistas lo identificaron.

Las limitaciones de esta investigación fueron la evaluación de la aceptabilidad del consumidor de solamente uno de los genotipos de frijol biofortificado y la exclusión de genotipos biofortificados andinos de grano grande. Además, no se evaluó la calidad nutricional en cada localidad para identificar los genotipos más nutritivos en cada zona agroecológica. Sería de gran importancia adelantar otro estudio en el Cesar, con los materiales sobresalientes tipo rojo y rosado moteado e incluir el biofortificado tipo calima NUA 35, con el fin de cubrir el espectro de preferencia de frijol identificado a partir de las encuestas. De igual forma, además de los criterios sensoriales, es de gran importancia realizar pruebas de cocción participativas con los materiales sobresalientes y así

Evaluación agronómica y sensorial de frijol biofortificado

completar la evaluación con las variables de mayor influencia sobre la producción y consumo de frijol. El presente estudio es novedoso pues integra criterios de productividad, contenido nutricional y evaluación sensorial, con el objetivo de estimar el potencial de adopción del nuevo cultivar biofortificado tras su liberación.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En promedio los frijoles mejorados nutricionalmente evaluados en el Cesar presentaron 172% más de hierro, 94% más de zinc y 150% más de rendimiento con respecto al testigo regional, frijol negro tipo caraota; sin embargo se recomienda realizar un seguimiento en la producción de los frijoles sobresalientes en fincas de productores en al menos dos semestres, pues el grupo de biofortificados se evaluó en un año atípico. El genotipo mejorado SMN18 presentó, con respecto al testigo, gran aceptación entre los productores y consumidores evaluadores, mostrando buenas características organolépticas, como espesor del caldo para el potaje, sabor y

textura del grano. Por consiguiente, este frijol negro mejorado nutricionalmente puede convertirse en un producto de preferencia por productores y consumidores de las comunidades involucradas en el estudio. Se recomienda continuar los estudios con frijoles biofortificados en algunos aspectos que faltan por elucidar en la región, como evaluación de germoplasma biofortificado de origen andino de grano grande, para cubrir todos los rangos de preferencia de los consumidores, análisis del aporte nutricional en la alimentación diaria de grupos poblacionales específicos, lineamientos nutricionales para su inclusión en tiempos de comida principales, valoración de biodisponibilidad de las diferentes recetas de frijol identificadas en el Cesar y pruebas clínicas del efecto de la ingesta regular de frijol biofortificado sobre el estado nutricional del hierro.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la gobernación del Cesar por la financiación del proyecto y a la UDES por el apoyo institucional.

Referencias

1. WHO/UNICEF/UNU. Iron deficiency anaemia: assessment, prevention, and control. Geneva: WHO; 2001 [citado febrero 2011]. Disponible en: http://www.who.int/nut/documents/ida_assessment_prevention_control.pdf.
2. ICBF, Profamilia, Instituto Nacional de Salud, Ministerio de la Protección Social. Encuesta nacional de la situación nutricional en Colombia (ENSIN 2010). Bogotá; 2011. p. 509.
3. Fischer Walker CL, Ezzati M, Black RE. Global and regional child mortality and burden of disease attributable to zinc deficiency. *Eur J Clin Nutr*. 2009; 63:591-7.
4. Hotz C, Brown KH. Assessment of the risk of zinc deficiency in populations and options for its control. *Food Nutr Bull*. 2005; 25(Suppl 2):S91-S202.
5. Blair MW, Astudillo C, Grusak MA, Graham R, Beebe SE. Inheritance of seed iron and zinc concentrations in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Mol Breeding*. 2009;23:197-207.
6. Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas (FENALCE). Indicadores sectoriales de frijol: Colombia. Bogotá: 2010 [citado abril 2011]. Disponible en: http://www.fenalce.org/archivos/situa_frijol.pdf.
7. Cesar. Gobernación. Cesar en cifras: 2007–2008. Valledupar; 2009 [citado abril 2011] Disponible en: http://planeacioncesar.gov.co/index.php?option=com_content&task=view&id=17&Itemid=40.

8. Corpoica. Estación Experimental Motilonia. Informe final proyecto Implementación del cultivo de frijol biofortificado en los focos productivos de frijol tradicional como estrategia nutricional del Programa de seguridad alimentaria del Cesar. Documento interno, Valledupar; 2006. 180p.
9. Morales FJ. Common bean. In: Loebenstein G, Carr JP, eds. Natural resistance mechanisms of plants to viruses. Netherlands: Springer; 2006. p. 367-382.
10. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Eco-efficient agriculture for the poor. In: Annual Report 2008. Cali: 2009 [citado abril 2011]. Disponible en: <http://webapp.ciat.cgiar.org/webciat/newsroom/report2008/pdf/report2008.pdf>.
11. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). From the new world to the whole world. In: Annual Report 2010. Cali: 2011 [citado abril 2011]. Disponible en: http://www.ciat.cgiar.org/Publicatios/Documents/annual_report_2010.pdf.
12. Monserrate-Rojas F. Análisis del proceso de biofortificación de variedades de frijol Andino de tipo comercial calima en Colombia. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia; 2008 [citado abril 2011]. Disponible en: http://www.agrosalud.org/descargas/analisis_proceso_%20biofortificacion_variedades%20de%20frijol.pdf.
13. Olivas R, Nevárez G, Gastélum M. Las pruebas de diferencia en el análisis sensorial de los alimentos. *Tecnociencia Chihuahua*. 2009; 3:1-7.
14. Acosta G, Mendoza F, Aguilar B, Esquivel G, Rodríguez R, Guzmán Maldonado SH. Negro Guanajuato, nueva variedad de frijol para el centro de México. *Agric Téc. Méx* [online]. 2008. 34:107-111.
15. Rodríguez E, Lorenzo E, Melgar A, Palacios E, Gonzales F, Quintero A. Biofortificación del frijol común en Panamá con micronutrientes. En: Seminario de biofortificación en Panamá. 2009 [citado marzo 2011]. Disponible en: <http://www.agrosalud.org>.
16. Chaveco O, Padrón M, Permuy N, Ruiz B, Pachon H, Beebe S, Selva L. Biofortificación del frijol común con hierro y zinc una alternativa en la estrategia de diversificación alimentaria en Cuba. La Habana: Agrosalud; 2006 [citado febrero 2011]. Disponible en: http://www.agrosalud.org/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=11&dir=DESC&order=date&Itemid=30&limit=8&limitstart=24. webapp.ciat.cgiar.org/training/pdf/2008_09_17_08_O_Chaveco.pdf
17. Lawless, H. *Sensory evaluation of food: principles and practices*. New York: Kluwer Academics/Plenum Publishers; 1998. p.827.
18. Liria MR. *Guía para la evaluación sensorial de alimentos*. Cali: CIAT; 2007. 22 p.
19. Otzoy MR, Rodas RC, Loarca EP. Evaluación de nueve materiales de frijol de vara (*Phaseolus vulgaris* L.) en calidad de cocción y aceptabilidad, provenientes de la región suroccidental de Guatemala: informe final. Mazatenango: Universidad de San Carlos de Guatemala; 2004 [citado marzo 2011] Disponible en: http://digi.usac.edu.gt/bvirtual/investigacio_files/INFORMES/PRUNIAN/INF-2004-007.pdf.
20. Leyva R, Pachón H, Chaveco O, Permuy N, Ferraz Y, Caballero N, et al. Evaluación sensorial de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) mejorado nutricionalmente en dos comunidades cubanas. *Agron Mesoamer*. 2010; 21:281-288.
21. Asociación Médica Mundial (AMM). Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial: principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos. Helsinki; 1963 [citado abril 2011]. Disponible en: <http://www.bioetica.uchile.cl/doc/helsink.htm>.
22. Colombia. Ministerio de Comercio, Poexport. Desarrollo productivo Colombia. Estudio de mercado "frijol". Bogotá; 2003 [citado febrero 2011]. Disponible en: www.pymex.pe/descargas/category/62-frejol.html?download.
23. Flórez A, Pujolá M, Valero J, Centelles E, Almirall A, Casañas F. Genetic and environmental effects on chemical composition related to sensory traits in common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Food Chem*. 2009; 113: 950-6.
24. Paiz M, Dauría A, Carrillo P, Pachón H. Evaluación sensorial de tres líneas de frijoles mejorados nutricionalmente (MIB 395, MIB 396, MIB 397) en La Vainilla y El Aguacate en el departamento de Carazo, Nicaragua. Managua: 2009 [citado marzo 2011]. Disponible en: http://www.agrosalud.org/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=11&Itemid=57&mosmsg=Est%E1+intentando+acceder+desde+un+dominio+no+autorizado.+%28www.google.com.co%29.