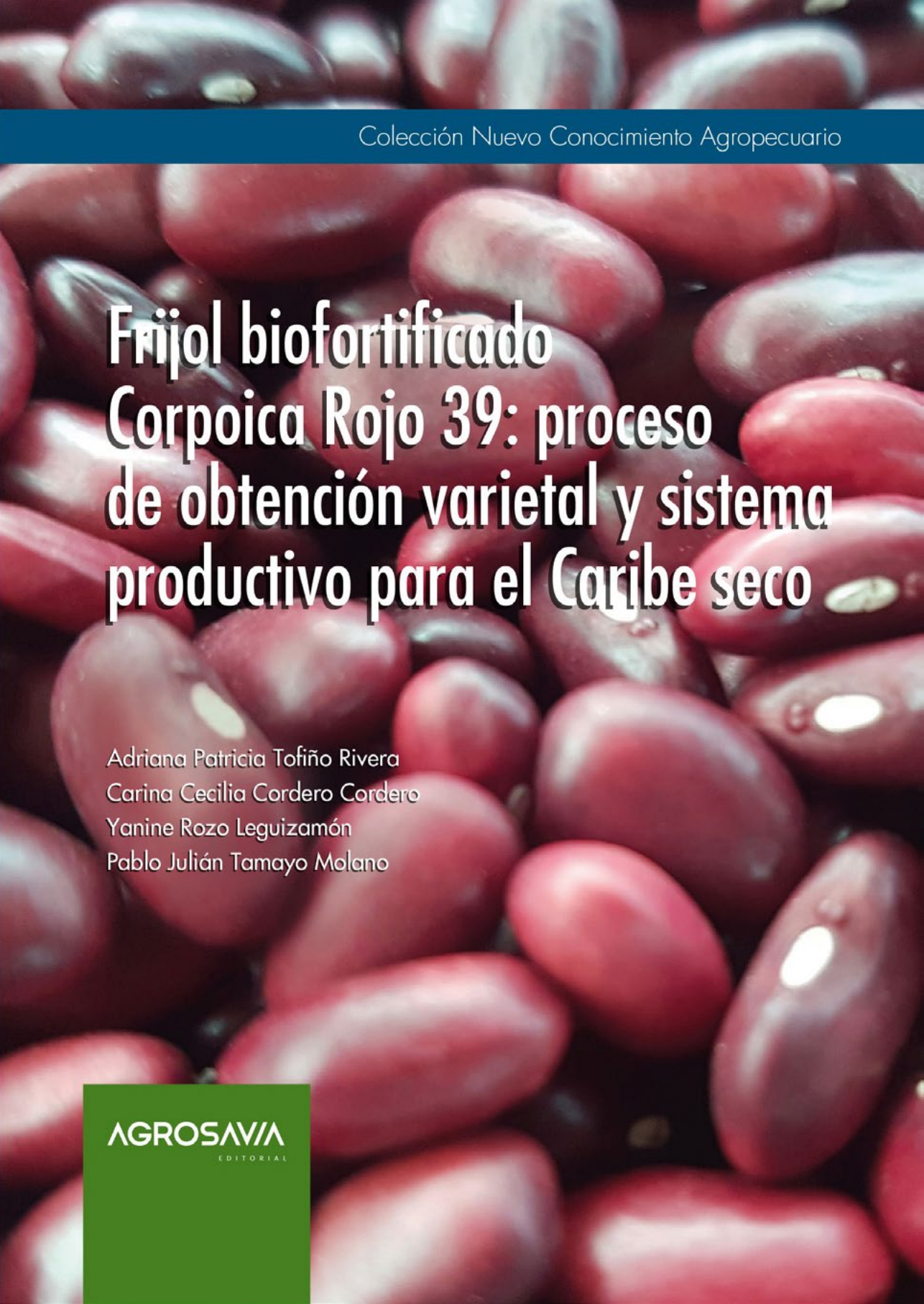


A close-up photograph of numerous red beans, likely kidney beans, filling the entire frame. The beans are a deep red color with some lighter, almost white, spots on their surface, possibly due to moisture or the way they are lit. They are arranged in a somewhat chaotic but dense pattern.

Colección Nuevo Conocimiento Agropecuario

Frijol biofortificado Corpoica Rojo 39: proceso de obtención varietal y sistema productivo para el Caribe seco

Adriana Patricia Tofiño Rivera
Carina Cecilia Cordero Cordero
Yanine Rozo Leguizamón
Pablo Julián Tamayo Molano

AGROSAVIA
EDITORIAL

Frijol biofortificado Corpoica Rojo 39: proceso de obtención varietal y sistema productivo para el Caribe seco

Adriana Patricia Tofiño Rivera
Carina Cecilia Cordero Cordero
Yanine Rozo Leguizamón
Pablo Julián Tamayo Molano

Tofiño Rivera, Adriana Patricia

Frijol biofortificado Corpoica Rojo 39: proceso de obtención varietal y sistema productivo para el Caribe seco / Adriana Patricia Tofiño Rivera [y otros tres] -- Mosquera, (Colombia) : AGROSAVIA, 2019.

136 páginas (Colección Nuevo Conocimiento Agropecuario)

Incluye referencias bibliográficas, tablas y fotos

ISBN (e): 978-958-740-306-0

1. Frijol (phaseolus) 2. Fitomejoramiento 3. Biofertilizantes 4. Seguridad alimentaria 5. Anatomía de la planta 6. Preparación del sitio 7. Enfermedades de las plantas 8. Cesar (Colombia) I. Cordero Cordero, Carina Cecilia II. Roza Leguizamón, Yanine III. Tamayo Molano, Pablo Julián.

Palabras clave normalizadas según Tesauro Multilingüe de Agricultura Agrovoc

Catalogación en la publicación – Biblioteca Agropecuaria de Colombia

Centro de Investigación Motilonia. Km 5 vía a Becerril, Agustín Codazzi, Cesar. Código postal 202050, Colombia
Centro de Investigación La Suiza. Sede Cúcuta. Calle 6N Número 1AE-196 Ceiba II Cúcuta, Norte de Santander. Código postal: 540003, Colombia
Centro de Investigación La Selva. Km 7, vía Rionegro-Las Palmas, sector Llanogrande. Rionegro, Antioquia. Código postal 054040, Colombia

Esta publicación es resultado de los proyectos de Corpoica (actualmente AGROSAVIA): *Implementación del frijol biofortificado en los focos productivos de frijol tradicional del departamento para su utilización como alternativa nutricional en los programas de seguridad alimentaria del Cesar (2010-2012); Una variedad de frijol con tolerancia a la sequía como alternativa de adaptación al cambio climático y una variedad de frijol biofortificado rojo para programas de seguridad alimentaria, con recomendaciones técnicas de manejo para el caribe colombiano; y Obtención de variedades comerciales y de mercado campesino de frijol tolerante a alta temperatura bajo sistemas productivos sostenibles en el Caribe colombiano.*

Colección: Nuevo Conocimiento Agropecuario

Fecha de recepción: 10 de octubre de 2018

Fecha de evaluación: 18 de febrero de 2019

Fecha de aceptación: 10 de abril de 2019

Primera edición: 3.000 ejemplares

Impreso en Bogotá, Colombia, septiembre de 2019

Printed in Bogota, Colombia

Preparación editorial

Editorial AGROSAVIA

editorial@agrosavia.co

Editora: Liliana Gaona García

Corrección de estilo: Nathalie de la Cuadra Núñez

Diagramación: María Paula Berón Ramírez

Impresión: Fundación Cultural Javeriana de Artes Gráficas (JAVEGRAF)

Nota: A partir de mayo de 2018, la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria cambió su acrónimo Corpoica por AGROSAVIA.

Citación sugerida: Adriana Patricia Tofiño Rivera, A. P., Cordero Cordero, C. C., Roza Leguizamón, Y., & Tamayo Molano, P. J. (2019). *Frijol biofortificado Corpoica Rojo 39: proceso de obtención varietal y sistema productivo para el Caribe seco*. Mosquera Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Cláusula de responsabilidad: AGROSAVIA no es responsable de las opiniones y la información recogidas en el presente texto. Los autores asumen de manera exclusiva y plena toda responsabilidad sobre su contenido, ya sea este propio o de terceros, y declaran, en este último supuesto, que cuentan con la debida autorización de terceros para su publicación; igualmente, declaran que no existe conflicto de interés alguno en relación con los resultados de la investigación propiedad de tales terceros. En consecuencia, los autores serán responsables civil, administrativa o penalmente, frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros relativa a los derechos de autor u otros derechos que se hubieran vulnerado como resultado de su contribución.

Línea de atención al cliente: 018000121515

atencionalcliente@agrosavia.co

<http://www.agrosavia.co/>

DOI: <https://doi.org/10.21930/agrosavia.investigation.7403060>



https://co.creativecommons.org/?page_id=13

Tabla de Contenido

Agradecimientos	15
Introducción.....	17
Capítulo I	
Generalidades del frijol común	21
Capítulo II	
Generalidades del mejoramiento genético para las condiciones del Caribe seco	25
Capítulo III	
Generalidades sobre la biofortificación de frijol en Colombia y el Caribe	39
Capítulo IV	
Generalidades de los factores fisiológicos que determinan la adaptación del frijol a las condiciones del Caribe seco	45
Capítulo V	
Consumo de frijol común en el Caribe seco	55
Capítulo VI	
Origen de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39	59
Capítulo VII	
Características de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39	61
Periodo vegetativo	61
Características de la semilla	63
Características de la planta.....	63
Características agronómicas	66
Producción de grano.....	68
Calidad culinaria del grano de frijol.....	72
Capítulo VIII	
Recomendaciones técnicas para el manejo de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39.....	75
Preparación de suelos	75
Semilla.....	76
Sistema de siembra	78

Época de siembra	79
Riego	80
Fertilización.....	81
Manejo de plagas.....	82
Manejo de enfermedades	85
Manejo de arvenses.....	86
Manejo de la cosecha	87
Análisis económico de la producción de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39	89

Capítulo IX

Uso de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 en la alimentación	93
Ventajas de la nueva variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39.....	100

Capítulo X

Consideraciones finales	103
-------------------------------	-----

Conclusiones	107
Los autores	115
Referencias	119
Glosario	131





Listado de figuras

Figura 1	Taxonomía del frijol común	21
Figura 2	Zonas de evaluación de germoplasma de frijoles biofortificados en el departamento del Cesar	33
Figura 3	Análisis AMMI. Resultados de evaluación multilocal de frijoles biofortificados en la región natural del Caribe seco	36
Figura 4	Esquema de trabajo para la obtención de cultivos biofortificados	40
Figura 5	Esquema para la producción de frijoles biofortificados para las condiciones agroecológicas del Caribe seco	40
Figura 6	Evaluación de semillas viables como criterio de adaptación del frijol a la alta temperatura	52
Figura 7	Viabilidad de polen líneas sef $6 \times 6 \times 3 \times 4$ (Centro de Investigación Motilonia), siembra de 2014 (10x)	52
Figura 8	Ciclo fenológico de la variedad de frijol Corpoica Rojo 39 en el Caribe seco colombiano	62
Figura 9	Fenología de la variedad de frijol Corpoica Rojo 39 en el Caribe seco colombiano	62
Figura 10	Semillas de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39	63
Figura 11	Hábito de crecimiento de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39	65
Figura 12	Características morfológicas de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39	66
Figura 13	Estrategias para evitar daño por volcamiento	67
Figura 14	Plagas y enfermedades limitantes prevalentes en el Caribe seco	67
Figura 15	Evaluación participativa del tiempo de cocción de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39	72
Figura 16	Cultivo de frijol en pendiente superior al 40 %	75
Figura 17	Preparación del terreno	76
Figura 18	Proceso de poscosecha de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39, para la producción de semilla certificada. Centro de Investigación Motilonia, AGROSAVIA	77
Figura 19	Esquema de siembra doble planta por surco	78
Figura 20	Esquema de siembra de planta por surco	79
Figura 21	Esquema de siembra asociada con maíz y surco sencillo de frijol	79

Figura 22	Calendario del cultivo de frijol en el Caribe seco	80
Figura 23	Sistemas de riego	81
Figura 24	Elementos <i>in situ</i> de medición de lluvias y temperatura	81
Figura 25	Aplicación de fertilizante al voleo en Cesar, 2018	82
Figura 26	Principales plagas que afectan el cultivo de frijol en el Caribe seco	83
Figura 27	Principales enfermedades del cultivo de frijol en el Caribe seco	85
Figura 28	Principales malezas en el cultivo de frijol en el Caribe seco	87
Figura 29	Métodos de control de arvenses utilizados en el Caribe seco	87
Figura 30	Cosecha de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39	88
Figura 31	Pruebas del efecto del consumo de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39, Colegio Villa Yaneth en La Nevada, municipio de Valledupar	98
Figura 32	Pruebas agroindustriales con harina producida con la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39	100





Listado de tablas

Tabla 1	Selección de los nueve mejores genotipos de un grupo de 35 evaluados en el Caribe seco, según el índice de selección	26
Tabla 2	Análisis de varianza combinado y comparación de las medias de las variables agronómicas para los genotipos de frijol biofortificado	30
Tabla 3	Comparación de medias de variables morfoagronómicas en germoplasma de frijol biofortificado evaluado en el Caribe seco	30
Tabla 4	Cuadrados medios del análisis de varianza combinado y comparación de las medias para rendimiento y sus componentes para genotipos de frijol biofortificado	32
Tabla 5	Comparación de medias según Dunnet del rendimiento y sus componentes en germoplasma de frijol biofortificado evaluado en el Caribe seco	32
Tabla 6	Cuadrados medios del análisis de varianza combinado y comparación de las medias para variables de contenido de minerales en la semilla de genotipos de frijol biofortificado	41
Tabla 7	Comparación de medias de contenido de Fe y Zn de germoplasma de frijol biofortificado cosechado en el Caribe seco	41
Tabla 8	Viabilidad de polen de las 36 líneas de frijol (SER y SEF) tolerantes a estrés por altas temperaturas en la primera siembra realizada en Codazzi, Cesar	48
Tabla 9	Análisis de conglomerados a partir de los datos de variables productivas bajo condiciones de calor (Centro de Investigación Motilonia) de las líneas SER y SEF	50
Tabla 10	Características morfoagronómicas de la variedad Corpoica Rojo 39 frente al testigo local	64
Tabla 11	Evaluación de la presencia de plagas y enfermedades limitantes prevalentes en el Caribe seco, localidad de Manaure (2012B), en dos genotipos experimentales de frijol	68
Tabla 12	Rendimiento y contenido de Fe y Zn promedio en las pruebas de evaluación agronómica, Caribe seco, 2011A	68
Tabla 13	Número de vainas por planta, número de semillas por vaina y peso de 100 semillas promedio en las pruebas de evaluación agronómica, Caribe seco, 2011A	69

Tabla 14	Comparación del rendimiento de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 frente al testigo local	69
Tabla 15	Promedio de variables agronómicas y de rendimiento evaluadas a través de cuatro localidades	70
Tabla 16	Datos climáticos tomados de las estaciones agroclimáticas del Ideam, 2011	71
Tabla 17	Comportamiento del contenido de minerales en semilla de la variedad d e frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 frente al testigo local, a través de localidades del Caribe seco	72
Tabla 18	Análisis económico de la producción de frijol, 2017	89
Tabla 19	Resultados de análisis físico-químico del grano de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39	94
Tabla 20	Comparación de medias de tiempos de cocción entre cultivares de frijol	95
Tabla 21	Pruebas hedónicas con adultos consumidores de frijol en el Caribe seco	95
Tabla 22	Análisis estadístico de los resultados de la ingesta regular de frijol biofortificado por niños en Valledupar	97
Tabla 23	Evaluación de metodologías de producción de harinas de frijol para conservar la calidad nutricional	98
Tabla 24	Comparación del contenido nutricional inicial de frijol biofortificado y yuca, respecto a las harinas de trigo con diferentes porcentajes de sustitución con harina mixta (frijol biofortificado-yuca)	99
Tabla 25	Análisis físico-químico de la harina y sensorial de las galletas elaboradas con harina diluida de trigo con harina en mezcla de frijol y yuca	99
Tabla 26	Evaluación sensorial de las galletas hecha por ingenieros de alimentos	100

Agradecimientos

Agradecimientos especiales a Stephen Beebe, PhD, líder del Programa de Mejoramiento de Frijol del CIAT, pues sin su apoyo técnico no se hubiese realizado esta investigación.





Introducción

La deficiencia de micronutrientes, reconocida como “hambre oculta”, constituye un problema de salud pública a nivel global; en esta, se destacan las deficiencias de zinc, vitamina A y hierro que afectan a cerca de la tercera parte de la población global. En especial, la carencia de hierro o ferropenia está difundida en países industrializados y en desarrollo, y alcanza un estimado de 2.000 millones de personas (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2018). De acuerdo con la *Encuesta Nacional de Situación Nutricional* (Instituto Colombiano de Bienestar Familiar [ICBF], 2015a), la deficiencia de micronutrientes constituye un problema de salud pública en Colombia. En 2015, se encontró anemia en el 47,4 % de los niños preescolares, en el 40,9 % de mujeres en edad fértil y en el 44,7 % de mujeres embarazadas.

Otras cifras al respecto indican que una de cada diez mujeres gestantes de 13 a 49 años padece anemia ferropénica, siendo mayor la proporción en la zona rural. Por otro lado, la anemia en niños y niñas de 6 a 59 meses de nacidos afecta al 27,5 % de la población. Esta tendencia nutricional deficitaria se acentúa en el departamento de La Guajira, donde se superan los promedios nacionales con un 38,9%, del cual el 32,6% corresponde a población indígena. Con relación al zinc, se registra que predomina una deficiencia en población infantil de 1 a 4 años, con el 43,3 %, siendo más afectada la población indígena, con 56,3 %, y la población rural con un 47,8 % (León Taborda et al., 2015). De acuerdo con la estrategia nacional para la prevención y el control de las deficiencias de micronutrientes, los cultivos biofortificados constituyen una opción costo-efectiva y sustentable para contrarrestar deficiencias nutricionales (León Taborda et al., 2015).

Teniendo en cuenta esta demanda, el frijol constituye una excelente opción para biofortificación, pues naturalmente contiene proteína, hierro y zinc, además, está incluido en la canasta básica con un consumo per cápita de 2,8 kg/año (Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas [Fenalce], 2010). A nivel regional, el informe final del proyecto *Caribe sin hambre* incluye al frijol común como parte de la canasta básica de la región (Banco Interamericano de Desarrollo [BID] & Gobernación del Atlántico, 2011). Según el *Anuario Estadístico del Sector Agropecuario* 2016, se sembraron 128.234 ha de frijol a nivel nacional, de las cuales aproximadamente 15.396 ha se encuentran en el Caribe colombiano y, específicamente, en el Cesar (6.185 ha) y en La Guajira (1.370 ha) (Ministerio de Agricultura y desarrollo Rural [MADR], 2016). En La Guajira, el frijol también está incluido dentro de los gastos básicos familiares y la comunidad Wayuu lo integra a su dieta diaria, en recetas como el “poi” (Ministerio de Cultura de Colombia [Mincultura], Fundación Cerrejón Guajira Indígena & ICBF, 2014).

El alto consumo regional y los beneficios ecosistémicos derivados de la siembra de frijol reflejan una oportunidad de impacto de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39, en una de las regiones más vulnerables del país (Lissbrant, 2015) y con mayor índice de degradación de suelos (Tofiño-Rivera, Pastrana-Vargas, Melo-Ríos, Beebe, & Tofiño-Rivera, 2016). Finalmente, algunos estudios respaldan el efecto de la ingesta regular de frijoles biofortificados sobre el desempeño cognitivo en mujeres jóvenes (Murray et al., 2017). La variedad Corpoica Rojo 39 se entrega a la región Caribe seco a partir de la alianza entre la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Programa de Mejoramiento de Frijol liderado por Stephen Beebe, con el objetivo de mejorar la oferta de alimentos de alto valor nutricional, mejorar el rendimiento de grano y contribuir a la ruptura de la estacionalidad productiva de frijol imperante en la zona. Estudios hechos en Valledupar registran que el consumo de 90 g de Corpoica Rojo 39, tres veces por semana durante al menos

tres meses, mejora los indicadores de hierro en la sangre y el peso en los niños (Tofiño-Rivera et al., 2011).

Este documento ofrece a los productores la variedad y la descripción de las características morfoagronómicas y de rendimiento, al igual que algunas recomendaciones de manejo necesarias para mantener la productividad de la nueva variedad, registrada por Corpoica. Aunque la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 se ha sembrado de manera ininterrumpida en el Cesar desde 2008, para obtener los datos morfoagronómicos, la calidad nutricional, el análisis sensorial, los costos de producción y la calidad agroindustrial que se describen en este documento, los datos de campo que se presentan corresponden al periodo 2011-2012. En ese tiempo se realizaron las pruebas de evaluación agronómica y la parcela semicomercial supervisadas por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), las cuales fundamentan el registro # FRJ-15-62 asentado en el Registro Nacional de Cultivares del ICA, según Resolución 1054 de 2015, que faculta a AGROSAVIA a comercializar la semilla en la región del Caribe seco.





Generalidades del frijol común

Con respecto a las características biológicas y ecofisiológicas del cultivo, el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es una especie cultivada originaria de América. De acuerdo con el centro de domesticación (Meso y Suramérica) este presenta dos acervos genéticos, y cada uno muestra diferenciación en sus características ecofisiológicas, morfológicas, bioquímicas y moleculares, y la respuesta a estreses bióticos y abióticos (Blair et al., 2012; Cichy, Blair, Galeano Mendoza, Snap, & Kelly, 2009; Araya Villalobos & Hernández Fonseca, 2007) (figura 1). Especialmente, el germoplasma mesoamericano se ha asociado con mayor potencial de rendimiento, diversidad de genes de resistencia a enfermedades, plagas, tolerancia al calor y sequía (Asensio-S.-Manzanera, Asensio, & Singh, 2005; Beebe, Rao, Cajiao, & Grajales, 2008; Blair et al., 2012; Frei et al., 2005; Sexton, White, & Broote, 1994). Las características mencionadas facilitan al germoplasma mesoamericano de frijol la adaptación a las condiciones de zona de ladera del Caribe seco en la cual se cultiva frijol común, en la franja entre 700 y 1300 m s. n. m. (Blair et al., 2012). Sin embargo, debe tenerse en cuenta que las diferentes clases de frijol comercial en el mundo corresponden a la combinación específica de las características del grano, como tamaño, forma y color, y que dichas preferencias varían entre países y regiones; esto, en buena medida, condiciona el éxito de la adopción de nuevos cultivares (Voysest, 2000).

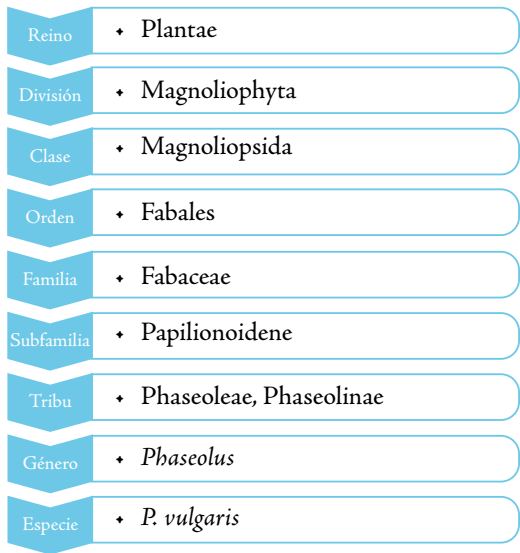


Figura 1. Taxonomía del frijol común.
Fuente: Elaboración propia, a partir de Singh & Voysest (1997)

El frijol común corresponde al gran grupo de plantas superiores angiospermas, es decir, que poseen flores. Acorde con la taxonomía clásica, la morfología floral es determinante para la separación de grupos filogenéticos. En el caso del frijol común y las especies relacionadas que hacen parte de la subfamilia Papilionoideae, las similitudes y divergencias en estructuras florales, como estípulas alargadas y estilo prolongado, han generado controversias en la diferenciación de genotipos

de *Vigna* y de *Phaseolus*, que han sido resueltas teniendo en cuenta la morfología del grano de polen, de la morfología de las plantas y del número cromosómico. No obstante, con la emergencia de la bioinformática, la biología molecular y la proteómica se ha logrado una mayor robustez en la definición y separación de grupos cercanamente relacionados, así como una mayor comprensión de la historia evolutiva de los taxones (Beyra & Reyes Artilles, 2004) (figura 1).





Generalidades del mejoramiento genético para las condiciones del Caribe seco

La planta de frijol es autógama, lo que significa que se autofecunda; cuando una flor de frijol se abre, ya está fecundada por el polen de sí misma, pues la flor posee ambas estructuras reproductivas que se desarrollan de forma simultánea. Por esto, los programas de mejoramiento de frijol que incluyen ampliación de la diversidad existente en rasgos de interés implican la selección de parentales con características deseables, que se establecen en jardines de cruzamiento. El cruzamiento se realiza de modo dirigido y requiere la polinización manual de más de 10.000 flores para obtener la semilla necesaria y así establecer los lotes F1 o plantas híbridas (Checa Coral, Yama Escobar, & Fuel Tobar, 2011).

Los programas de mejoramiento que incluyen hibridación necesitan evaluación y selección de la progenie derivada de cada cruce simple, doble o triple, según sea el esquema de selección empleado, y una vez elegidos los genotipos con los caracteres de interés intra e interfamilias, estos se cosechan individualmente y se verifica el mantenimiento de dichos rasgos, eliminando las plantas por fuera de tipo. Este proceso puede repetirse por dos o tres ciclos para la estabilización de caracteres deseables y eliminación de los rasgos no deseables. Además, es un proceso que se utiliza para el desarrollo de cultivares con resistencia múltiple, alto rendimiento, buena adaptación y aceptación comercial. La ampliación de la diversidad genética se obtiene hibridando entre sí plantas de alto desempeño agronómico y otros rasgos de interés del germoplasma andino y mesoamericano. Los índices de selección permiten el mejoramiento simultáneo de varios caracteres y las pruebas multilocales facilitan la identificación de las condiciones agroecológicas idóneas para la expresión del potencial genético de los genotipos y su estabilidad a través de diferentes localidades (Rosas Sotomayor, Castro, & Flores, 2000).

En el caso de los genotipos de frijol biofortificado evaluados en el Cesar, la aplicación del índice de selección permitió la identificación de los genotipos por inscribir en pruebas de evaluación agronómica ante el ICA.

El índice de selección se calculó mediante la fórmula:

$$\{(4 \times \text{rendimiento} + 3 \times \text{contenido nutricional}) - w_5 (\text{tipo de grano})\}$$

Lo que arrojó como resultado en los 35 genotipos lo siguiente: para lograr los valores referidos abajo se tomaron los datos de rendimiento y contenido nutricional y se estandarizaron; además, se calificó la semilla de acuerdo con su brillo, color, tamaño, forma, y se le asignaron

calificaciones entre 1 y 5, siendo 1 el mejor. De los 35 genotipos evaluados, solamente 10 presentaron resultados negativos después de la aplicación del índice de selección. Sin

embargo, como se requerían máximo nueve para postular a pruebas de evaluación agro-nómica (PEA), se eliminó SMR13 por su alta incidencia de gorgojo (tabla 1).

Tabla 1. Selección de los nuevos mejores genotipos de un grupo de 35 evaluados en el Caribe seco, según el índice de selección

Genotipos	Índice
SMB17	3,01
SMC14	1,92
SMN18	0,069
SMR4	5,41
SMR43	1,029
SMR39	1,23
RCB 591	1,02
SCR3	0,31
DOR390	5,41
SMR15	6,04

Fuente: Elaboración propia

Fairfield Smith (1936) fue quien sugirió el empleo de una función discriminante como una forma lógica y sistemática en la selección de líneas para mejorar simultáneamente varias características cuantitativas, y el objetivo principal del índice de selección era maximizar el promedio del valor genético de una población. En el caso de maíz para forraje, se han utilizado las variables altura de planta, altura de la mazorca y rendimiento de forraje verde (Tucuch-Cauich et al., 2011). En la evaluación de progenies de yuca del programa de mejoramiento de CIAT se utilizan las variables rendimiento de raíces frescas, contenido de materia seca en raíz y tipo de planta, para los índices de selección de genotipos en los campos de observación (Pérez Velásquez et al., 2010).

En la actualidad, se suman otros paradigmas a las necesidades de mejoramiento de frijol (rendimiento, calidad de semilla, tolerancia a plagas y enfermedades). Las eventuales consecuencias del cambio climático han generado presión a Gobiernos, fitomejoradores, productores y consumidores para implementar planes de seguridad alimentaria. A lo anterior se suma el crecimiento exponencial de la población mundial y la problemática de distribución de alimentos, que han ocasionado deficiencia de hierro y otros micronutrientes a casi tres billones de personas a nivel global (Beebe et al., 2011). Este panorama, abre una nueva opción para los alimentos nutraceuticos.

En los programas nacionales centroamericanos de frijol los métodos utilizados para la generación de variedades son la selección recurrente, la selección masal, el método de pedigrí modificado y la introducción. En la generación de variedades optimadas, el método de mejoramiento por introducción ha sido el más utilizado, pues ha permitido identificar genotipos sobresalientes que luego se han liberado como variedades mejoradas para el trópico (Villar Sánchez, Salinas, & Acosta-Gallegos, 2003).

El programa de mejoramiento de frijol del CIAT utiliza principalmente la selección recurrente recíproca para la generación de poblaciones de frijol que tienen como principales objetivos la tolerancia al calor y a la biofortificación (Polanía, Rao, Beebe, & García, 2009). Producto de ese programa fueron los 35 genotipos de frijol biofortificado en generación F5, que se enviaron a AGROSAVIA en 2008 para evaluar en Cesar (Tofño-Rivera et al., 2011).

En las últimas fases del proceso de mejoramiento es necesario valorar las líneas candidatas a nuevas variedades en una amplia gama de condiciones ambientales, para identificar las de alta productividad y estabilidad, de características agronómicas superiores. No obstante, para valorar lo anterior es importante tener en cuenta que la respuesta de los genotipos dependerá de las condiciones ambientales específicas donde se produzcan, lo que generaría diferencias de comportamiento entre genotipos en relación con la estabilidad de su producción. Estas diferencias se deben a la interacción genotipo x ambiente (Furtado Ferreira, Borges Demétrio, Manly, De Almeida Machado, & Vencovsky, 2006), la cual determina en gran medida, a través de

su estudio, los genotipos por ser seleccionados para promoverlos como nuevas variedades.

Existen diferentes herramientas para el análisis de estabilidad de los genotipos que han utilizado de forma más eficiente el estudio que permite describir e interpretar mejor los efectos de la interacción $G \times A$. Una de las herramientas más comunes para evaluar genotipos y ambientes es el modelo descrito por Eberhart & Russell (1966), que se ha combinado con modelos como el AMMI (modelo con efectos principales aditivos y de interacción), el cual combina el análisis de los efectos de la interacción multiplicativa y el de los efectos aditivos (Gauch & Zobel, 1996) y el BIPLLOT que ayuda a optimizar la manera como se interpreta la interacción de forma más descriptiva. El mejor entendimiento de la interacción genotipo-ambiente y la mayor precisión en la estimación del rendimiento de grano y de la reacción a las enfermedades hacen de estos modelos herramientas útiles en los programas de mejoramiento genético (Cubero & Flores, 1994; Fikere, Tadesse, & Letta, 2008; Gauch, 2006; Lorenzo et al., 2003; Tamoc, Ustum, Altinok, & Acikgoz, 2009).

En algunos trabajos se ha comparado el AMMI con otras metodologías UNI o multivariadas para probar su eficiencia en la detección de germoplasma estable y diseccionar la interacción con el ambiente de prueba en frijol y otros cultivos (Fikere et al., 2008; Santos Pereira et al., 2009; Tamoc et al., 2009; Williams-Alanís et al., 2009). AMMI permite detectar diferencias entre ambientes, genotipos e interacción de ambos factores (López Salinas et al., 2011). Durante 2009 y 2010 se evaluaron en seis municipios del Cesar 35 genotipos élite entregados por el CIAT a

AGROSAVIA, por su potencial nutracéutico y productivo en la Serranía del Perijá y en la Sierra Nevada de Santa Marta, en la franja altitudinal entre 700-1.300 m s. n. m. Como resultado se seleccionaron nueve genotipos de frijol biofortificado rojos, negros, cremas y moteados, que se inscribieron a PEA en la subregión natural del Caribe seco colombiano (Tofiño-Rivera et al., 2011), con el fin de lograr la inscripción en el Registro Nacional de Cultivares comerciales del ICA de al menos una variedad de frijol biofortificado, como alternativa de mejoramiento de la competitividad de la cadena de frijol en esta subregión.

Para el desarrollo de la evaluación de múltiples localidades del Caribe seco, se sometieron a análisis de varianza de correspondencia múltiple los datos de las variables morfoagronómicas (días a floración, días a madurez fisiológica, días a cosecha, altura de planta, altura de inserción de la primera vaina, longitud de la vaina y diámetro de la vaina) de 10 cultivares (incluido testigo) de frijol en cuatro localidades (ambientes). En el análisis de correspondencia múltiple se tiene en cuenta el efecto de la localidad, el año, los genotipos, las repeticiones y el error sobre la variabilidad general del ensayo. Esto permite diferenciar el efecto genético del resultado respecto al efecto de promoción o limitación que ejerce la oferta bioclimática sobre el comportamiento de cada genotipo.

Por ejemplo, se observaron diferencias altamente significativas ($p < 0,01$) para el efecto de ambientes, genotipos e interacción genotipo-ambiente en las variables días a floración y días a madurez fisiológica. Esto significa que los materiales evaluados se distinguieron entre sí y el testigo local en

estos rasgos, pues son altamente cambiables en el germoplasma valorado y además son afectados por las condiciones ambientales, especialmente por diferencias en temperatura y nubosidad durante su cultivo. Por su parte, la variable días a cosecha solo mostró diferencias para los efectos genotipo y genotipo-ambiente; el primero no fue significativo, lo que sugiere que no es afectado por las condiciones ambientales predominantes, pero sí por la condición genética de los materiales de frijol evaluados. Las variables altura de planta, longitud y diámetro de la vaina presentaron diferencias altamente significativas para el efecto ambiente y genotipo; sin embargo, no existió interacción entre estos efectos. Por otro lado, la altura de inserción de la primera vaina solo presentó diferencias altamente significativas para el efecto de genotipos. Es decir, este rasgo dependió solo de la condición genética del carácter, pues los genotipos con baja inserción la conservarán independientemente del sitio donde se siembren (tablas 2 y 3).

En cuanto a la variable altura de inserción de la primera vaina, el testigo (11,47 cm) y los genotipos SMC14 (9,19 cm) y DOR390 (11,06 cm) presentaron la menor altura respecto a los demás genotipos de frijol biofortificados; los genotipos que se destacan por tener una mayor altura de inserción de la primera vaina son SMN18 (19,66 cm) y SCR3 (18,50 cm). En cuanto al diámetro de vaina, con excepción del genotipo SMN18 (2,77 cm), todos los demás genotipos presentaron valores más bajos que los que mostró el testigo (2,72 cm) (tabla 2). Las variables longitud y diámetro de la vaina mostraron diferencias significativas entre las localidades,

siendo Pueblo Bello el que muestra los menores promedios. Esto podría estar relacionado con la menor disponibilidad de cationes debido a la acidez, como calcio, potasio y Zn, fundamentales para la formación y el desarrollo de las vainas (García-Esteva, Kohashi-Shibata, Baca-Castillo, & Escalante-Estrada, 2003).

La arquitectura del grupo de frijol evaluado en el Cesar es de tipo erecta; no obstante, presentan diferencias en el hábito, es decir, en la clase de estructura vegetativa o reproductiva donde terminan el tallo principal y las ramas laterales, mientras que en el hábito I, que presentan el testigo regional y SMN18, termina en inflorescencia (determinado); el resto de los genotipos muestra hábito arbustivo tipo II, indeterminado. Dentro del tipo IIa, los genotipos SMR39 (variedad registrada Corpoica Rojo 39) y RCB591 exhiben tallos y ramas erectas pero débiles, sin guías apreciables. Los genotipos restantes son del tipo IIb, que a diferencia de los anteriores desarrolla guías apreciables. Así, se han establecido posibles interrelaciones entre hábito de crecimiento, tamaño de la semilla, madurez, centro de origen de domesticación y rendimiento en frijol común; empero, se ha determinado, a partir de estudios genéticos, que las diferencias en rendimiento entre los tipos de planta I y II son atribuibles a diferencias en el número de nudos en el tallo principal y longitud de las guías.

Estas variables, además de la habilidad trepadora y altura de planta, explican las diferencias altamente significativas en rendimiento entre los tipos de frijol determinados y los trepadores. Esto se evidencia en la heredabilidad del rendimiento en los cruces entre plantas de hábito IV y las de hábito I y II. Aparentemente, un control genético simple en la modificación de un tipo arbustivo a semitrepador y trepador explica el incremento del rendimiento entre esos cruces (Kornegay White, & Ortis de la Cruz, 1992).

También se ha definido que los genotipos de frijol de semilla pequeña rinden más que las plantas de semillas grandes. Con respecto a las variables productivas, el rendimiento se correlaciona de manera positiva con vainas/m², semillas/vaina, y en cuanto a las variables morfológicas, con todos los rasgos de la arquitectura de planta excepto ramificaciones/planta. En contraste, el tamaño de semilla se correlacionó negativamente con rendimiento, nudos/ramas, nudos/planta y nudos en el tallo principal, y positivamente con longitud entre nudos del tallo principal y su longitud. Las correlaciones genéticas entre rasgos sugieren que la selección para el incremento en la longitud de los entrenudos del tallo y la longitud del tallo principal podrían incrementar tanto el rendimiento, como el peso de semillas; aunque el tipo de planta resultante no es el ideal para el monocultivo de frijol, debido al hábito postrado (Nienhuis & Singh, 1986).

Tabla 2. Análisis de varianza combinado y comparación de las medias de las variables agronómicas para los genotipos de frijol biofortificado

Fuente de variación	Grados de libertad	Días flor	Días madurez fisiológica	Días cosecha	Altura inserción vaina	Altura planta	Longitud vaina	Diámetro vaina
Ambiente (A)	3	1.038,70**	732,90**	1676,10 NS	1,35	308,43*	8,99**	0,12**
Repetición /A	3	0,90 NS	0,13 NS	53,90 NS	6,14	224,83	2,05	0,003
Genotipo (G)	9	135,12**	113,40**	280,00 **	172,54**	4830,7**	6,15**	0,249**
Ax G	27	18,32**	19,20**	37,59**	1,75	152,59	0,88	0,003
Error	117	0,35	3,10	12,60	2,99	96,55	0,79	0,0037
cv (%)		1,66	2,65	4,52	12,46	14,80	7,99	2,38

*, ** = niveles de significancia al 0,05 y 0,01, respectivamente; NS = no significativo, cv = coeficiente de variación.
Fuente: Corpoica (2015)

30

Tabla 3. Comparación de medias de variables morfoagronómicas en germoplasma de frijol biofortificado evaluado en el Caribe seco

Genotipo	Días floración	Días madurez fisiológica	Días a cosecha	Altura inserción vaina	Altura planta	Longitud vaina	Diámetro vaina
SMR43	35,25(b)	65,00(b)	76,38(bc)	12,91(cd)	73,09bc	11,07abc	2,45(e)
SMN18	34,50(b)	63,25(b)	74,13(c)	19,66(a)	43,56e	10,83abc	2,77(a)
SMC14	35,25(b)	66,13(b)	80,56(abc)	9,19(f)	88,94a	10,53bc	2,50(de)
SMR4	35,00(b)	67,81(ab)	78,75(bc)	13,03(cd)	72,86bc	11,14abc	2,46(e)
SMB17	35,25(b)	65,94(b)	81,44(abc)	13,06(cd)	79,21ab	11,65ab	2,43(e)
SMR39	34,00(b)	63,25(b)	75,06(c)	13,99(c)	57,06d	11,87a	2,70(b)
RCB591	33,50(b)	67,19(ab)	76,38(bc)	15,94(b)	67,70cd	11,88a	2,55(cd)
DOR390	36,75(b)	68,25(ab)	82,63(ab)	11,06(e)	84,44a	10,73bc	2,46(e)
SCR3	33,75(b)	65,19(b)	74,94(c)	18,50(a)	62,09cd	11,62ab	2,59(c)
Testigo	43,50(a)	72,25(a)	87,19(a)	11,47(de)	34,72e	10,02c	2,72(ab)
Promedio	35,68	66,43	78,74	13,88	66,36	11,14	2,56
dms	5,20	5,33	7,45	1,61	11,22	1,01	0,0699

Nota: el genotipo SMR39 se registró como frijol biofortificado Corpoica Rojo 39. Los genotipos con letra diferente implican diferencias significativas.

Fuente: Elaboración propia

El rendimiento del grano de diferentes cultivares de frijol no está asociado intrínsecamente con vigor vegetativo al momento de la floración, mientras que los mecanismos durante el llenado de vainas pueden influenciar fuertemente el rendimiento final del cultivo. El establecimiento de un sistema radical profuso durante el llenado de vainas, asociado a la adquisición continua de nitrógeno y fósforo durante el inicio del cuajado de vainas, tiene efectos relevantes en el rendimiento. El rendimiento del grano se correlaciona con biomasa del brote durante el llenado de vaina y biomasa de raíz en cuajado de vaina (Araujo & Grandi Teixeira, 2008). En la tabla 3 se presentan los resultados del análisis de varianza para rendimiento y sus componentes, evaluados en diez cultivares de frijol en cuatro localidades (ambientes). Se detectaron diferencias altamente significativas ($p < 0,01$) en todas las variables de rendimiento evaluadas para los efectos de localidad y genotipo. Asimismo, para el efecto de interacción genotipo x ambiente el análisis de varianza permitió detectar diferencias estadísticas altamente significativas, lo que sugiere que las variables relacionadas al rendimiento, y este último en sí, están influenciadas por las condiciones ambientales en las cuales se desarrollan los genotipos de frijol.

De acuerdo con los resultados del análisis de varianza (Anova factorial), en la variable vainas por planta, los datos evidencian interacción significativa para los efectos genotipo, localidad, ambiente y genotipo-ambiente, aunque este último es menos marcado porque en la descomposición de la varianza el efecto genotípico alcanza el 72,62 % de la varianza total. Lo anterior indica que, para las condiciones del estudio y genotipos incluidos, el número de vainas por planta depende más del efecto genético que de la interacción con el ambiente. Esta tendencia es similar a lo que muestra la variable peso de 1.000 semillas, cuya dependencia del efecto de genotipos alcanza un 69,96 %, y aunque la interacción con el ambiente es positiva su contribución es baja. De igual forma, en el caso del rendimiento de grano, se muestra la fuerte dependencia de los genotipos en la explicación de la variabilidad extraída, que alcanza el 61 %, del cual solo el 17 % corresponde a la interacción con el ambiente. Lo anterior evidencia la necesidad de tener en cuenta dicho efecto ya que, aunque con porcentajes menores, tiene influencia en el comportamiento de los cultivares. De modo contrario a lo evidenciado en las tres variables anteriores, en número de semillas por vaina la descomposición de los efectos de la variable muestra una interacción más fuerte con el ambiente, que alcanza el 38,98 % de la variación total (tabla 4).

Tabla 4. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado y comparación de las medias para rendimiento y sus componentes para genotipos de frijol biofortificado

Fuente de variación	G.L.	Cuadrados medios			
		Semilla t ha ⁻¹	Vainas/planta	Semilla/vaina	Peso/1000 semillas
Localidad	3	893.867,36**	142,6**	2,06919**	10.473,5**
Repetición	3	107.729,1 NS	53,5**	0,0852 NS	212,226 NS
Genotipo (G)	9	866.152,1**	310,6**	0,44892**	18.729,9**
A × G	27	80.953,7**	23,2*	0,24166**	1.516,1**
Error	117	37.471,98	13,34	0,05580	180,15
cv (%)		12,53	15,89	4,209	5,07

*, ** = Niveles de significancia al 0,05 y 0,01, respectivamente. NS = no significativo, cv = coeficiente de variación.

Fuente: Elaboración propia, a partir de información de la prueba de evaluación agronómica hecha en cuatro ambientes de la subregión natural de Caribe seco

En general, los resultados de las variables de producción de frijol demuestran que los genotipos evaluados tienen un comportamiento diferencial en los ambientes probados. El grupo de genotipos de frijol biofortificado superó estadísticamente al testigo regional en rendimiento de semilla (tabla 5 y figura 2) (Tofiño-Rivera, Melo-Ríos et al., 2016).

32

Tabla 5. Comparación de medias según Dunnet del rendimiento y sus componentes en germoplasma de frijol biofortificado evaluado en el Caribe seco

Comparación / variable	Rendimiento de semilla (kg ha ⁻¹)		Vainas/planta		Semilla/vaina		Peso/1000 semillas	
	Diferencia entre medias	Significancia (α = 0,05)	Diferencia entre medias	Significancia (α = 0,05)	Diferencia entre medias	Significancia (α = 0,05)	Diferencia entre medias	Significancia (α = 0,05)
SCR3 – testigo	782,11	*	6,986	*	0,3606	*	93,25	*
SMR4 – testigo	697,29	*	12,528	*	0,3150	*	20,98	*
SMR39 – testigo	476,34	*	3,121	NS	0,3531	*	77,02	*
SMR43 – testigo	398,23	*	4,616	*	0,2475	*	41,53	*
RCB591 – testigo	504,95	*	3,518	NS	0,3775	*	78,27	*
DOR390 – testigo	602,18	*	13,370	*	0,4675	*	-9,31	NS
SMN18 – testigo	447,76	*	6,545	*	-0.0406	NS	45,14	*
SMB17 – testigo	192,83	*	2,210	NS	0,1500	NS	20,04	*
SMC14 – testigo	596,64	*	9,198	*	0,3219	*	33,30	*
Valor T-Dunnett				2,7281				
DMS	186,71		3,5233		0,2278		12,946	

Nota: nivel de confianza 5 %; NS = no significativa; *** = diferencia estadística significativa.

Fuente: Elaboración propia

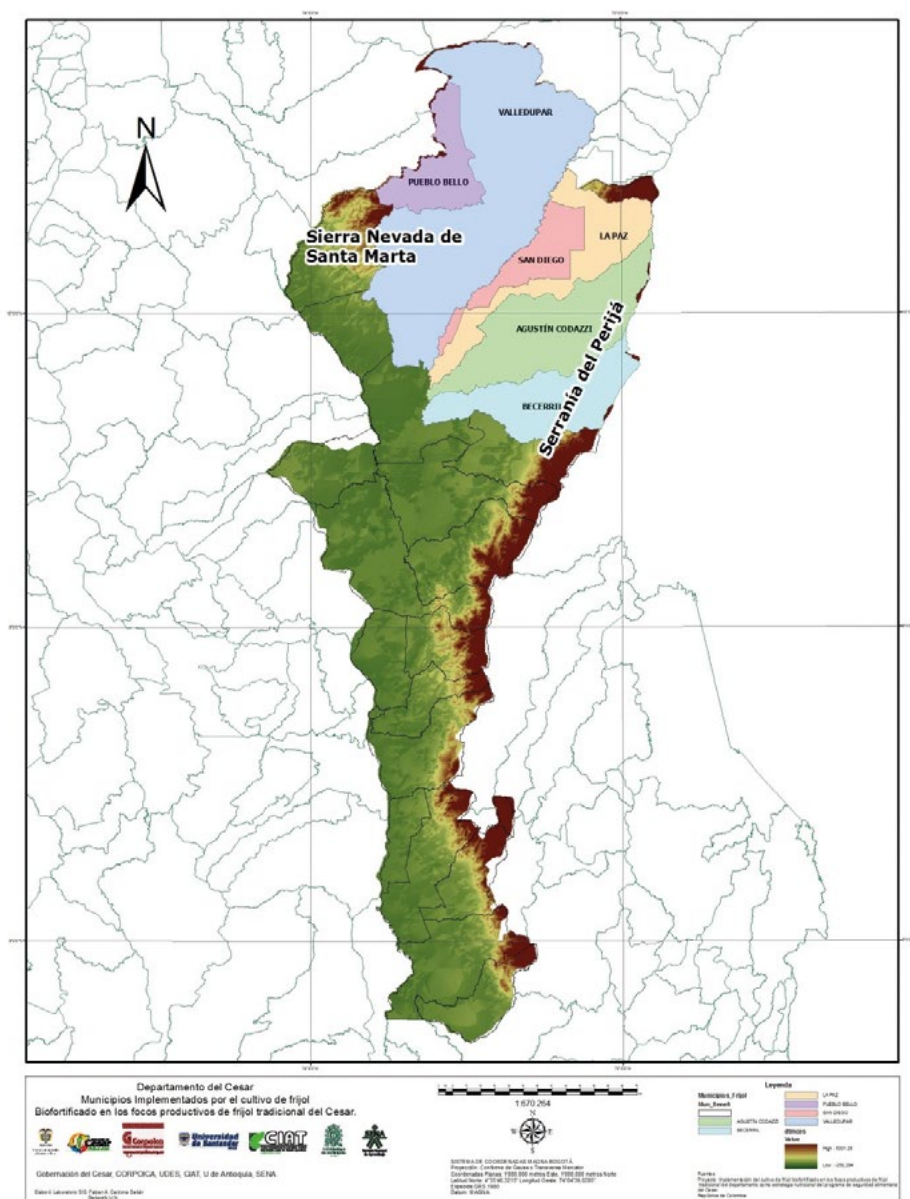


Figura 2. Zonas de evaluación de germoplasma de frijoles biofortificados en el departamento del Cesar.
Fuente: Corpoica (2012)

En la subregión natural Caribe seco el genotipo SCR3 presentó los mayores rendimientos con 1,45 t/ha. Al descomponer las variables que explican el rendimiento de semilla de frijol, se observa que el genotipo DOR390 mostró la diferencia más amplia del número de vainas por planta respecto al testigo (13,37), mientras que en el peso de 1.000 semillas este genotipo tuvo una diferencia negativa respecto al testigo (-9,31). Esto sugiere que la semilla de este genotipo registra un peso menor a la semilla que el testigo; la diferencia más amplia de esta última variable la marcó el genotipo SCR3 (93,25). En cuanto a la variable rendimiento de semilla (kg/ha^{-1}), todos los genotipos evaluados superaron al testigo ($\alpha = 0,05$) en un rango de $192,83 \text{ kg/ha}^{-1}$ (SMB17) y $782,11 \text{ kg/ha}^{-1}$ (SCR3) (tabla 5) (Tofiño-Rivera, Melo-Ríos et al., 2016).

34

Lo anterior sugiere que el componente de rendimiento más discriminante en esta subregión para el grupo de biofortificados y el testigo fue número de vainas por planta. La importancia de esta variable para la determinación del rendimiento es consistente con lo referido en el análisis de correlación y de sendero de los componentes del rendimiento, realizado en frijoles tipo bola roja y reventón (López & Ligarreto, 2006). En este sentido, se ha demostrado que la variabilidad en peso de semilla y rendimiento es causa, principalmente, de los efectos ambientales (López, Becerra, Cano, Zaleta, & Acosta, 1996).

En otras zonas del país como Nariño se realizaron evaluaciones multilocales en clima medio utilizando germoplasma de frijol arbustivo, las cuales fueron analizadas por

ANOVA y AMMI en un rango altitudinal de 1.800-2.200 m s. n. m. De esta manera, se encontraron muy pocas diferencias entre el nuevo germoplasma y el testigo local, a diferencia de lo observado en este estudio. También es relevante mencionar que el desempeño agronómico observado fue menor, dado que la media general de rendimiento en esa zona fue de $0,84 \text{ t/ha}^{-1}$, cifra que está por debajo del promedio nacional ($1,23 \text{ t/ha}$) (MADR, 2016); mientras que en el Caribe seco la media del ensayo fue de $1,45 \text{ t/ha}^{-1}$ (Checa et al., 2011). En evaluaciones con frijol caupí arbustivo (*Vigna unguiculata*), conducentes a liberación y realizadas en cuatro localidades del Caribe húmedo, los rendimientos fueron similares a los de Nariño ($0,8 \text{ t/ha}^{-1}$) durante dos semestres de cosecha, excepto en la localidad de Montería, en el segundo semestre de evaluación; en ese periodo se alcanzó un promedio de rendimiento del ensayo similar al de los biofortificados en el Caribe seco: $1,45 \text{ t/ha}^{-1}$ (Araméndiz Tatis, Espitia Camacho, M., & Cardona ayala, 2017).

Lo anterior indica el potencial productivo de los frijoles biofortificados arbustivos de germoplasma mesoamericano respecto a otros cultivares locales y mejorados. Por ejemplo, las variedades ICA Quimbaya produce en promedio 1.400 kg/ha^{-1} (Ríos et al., 1993); Corpoica Radical Jiji, 1.300 kg/ha^{-1} y Corpoica Froilán, 1.500 kg/ha^{-1} , de modo similar a los biofortificados, pero a mayores alturas (1200-1900 m s. n. m.) y con ciclos productivos más largos (iguales o superiores a los 90 días) (León Moreno & Jiménez Arango, 2002; León Moreno, Moreno Quintero, & Fuentes Cárdenas, 1998). Por su parte, los biofortificados se establecieron

en localidades entre 600-1.300 m s. n. m. del Caribe seco y con mayor precocidad, con 75 días en promedio (Tofiño-Rivera, Melo-Ríos et al., 2016).

Al revisar los componentes de rendimiento en evaluaciones multilocales que se hicieron en programas de mejoramiento del país en Nariño, Caribe húmedo y Caribe seco se encontró que en los germoplasmas de frijol caupí los biofortificados presentaron diferencias significativas en número de semillas por vaina, peso de 100 semillas y rendimiento. Esto indica que al menos un genotipo se diferencia del grupo o que al menos una localidad limita o promueve la productividad del germoplasma evaluado. Mientras tanto, en Nariño solo se presentaron diferencias significativas en peso de 100 semillas (Araméndiz Tatis et al., 2017; Checa et al., 2011; Tofiño-Rivera, Melo-Ríos et al., 2016).

Los resultados a nivel de componentes de rendimiento también fueron divergentes, y se mostró una mayor variabilidad en los caracteres evaluados en Caribe seco en comparación con el germoplasma de Nariño. En general, el germoplasma no logró diferenciarse respecto al testigo, excepto en uno de los tres componentes. Respecto a los componentes del rendimiento de frijol arbustivo en clima medio en Nariño, se encontró que la variable número de vainas por planta presentó poca variabilidad en el ensayo; de tal modo que los genotipos evaluados no lograron superar de manera significativa al testigo, que alcanzó una media general multilocal de 8,35. Esta baja variabilidad en el germoplasma también se encontró en número de granos por vaina que, a pesar de exhibir mayor variación, mantiene al testigo

(3,75) dentro del grupo de mejor comportamiento. Solo en la variable peso de semillas, el germoplasma evaluado superó estadísticamente al testigo de semilla mediana (31,76), en especial el genotipo chocho, que alcanzó semilla grande (42,18) (Checa et al., 2011).

Por otro lado, el germoplasma de los frijoles biofortificados mostró una mayor consistencia en su comportamiento agronómico (0,9-1,785 kg/ha⁻¹), respecto a lo evidenciado en frijol caupí, que, aunque ostentó un número superior de semillas por vaina (10,6 a 13,5) debido al bajo peso de 100 semillas (de 10,6 a 20 g), alcanzó un rendimiento promedio menor (683 y 1425 kg/ha⁻¹) (Araméndiz Tatis et al., 2017).

En la figura 3 se muestra la estabilidad de los genotipos y se puede notar la separación entre localidades. En este caso, los genotipos más estables en el comportamiento de sus rendimientos fueron DOR390 y SMC14, que a su vez coinciden con los de mayor promedio, seguido de SMR39 que, aunque no tiene la media alta, es estable en los ambientes señalados. En este sentido, es de esperarse que el genotipo DOR390 presente estas características de estabilidad, alto rendimiento y buenas características agronómicas, pues en 1994 se ofreció a los productores del trópico húmedo de México con el nombre de negro tacaná (López et al., 1996). Lo anterior refleja la validez del análisis y la eficiencia de los biofortificados SMR39 y SMC14, al evidenciar características productivas similares a una variedad comercial. Sin embargo, en el caso del mercado en el Caribe seco, los frijoles negros y cremas no tienen aceptación comercial, por lo cual solo los tipos rojos brillantes y rojos moteados tienen demanda para el

consumo como grano seco (Tofiño-Rivera et al., 2011). Por otro lado, el genotipo SCR3, con excelentes rendimientos en Manaure, Valledupar y Pueblo Bello, y características nutricionales superiores, tiene problemas de volcamiento; por lo cual requeriría un proceso

adicional de selección por planta individual para tratar de eliminar ese rasgo indeseable. Además, dado que su calidad de grano presenta tiempo de cocción alto, se recomendaría para su explotación agroindustrial (Tofiño-Rivera, Melo-Ríos et al., 2016).

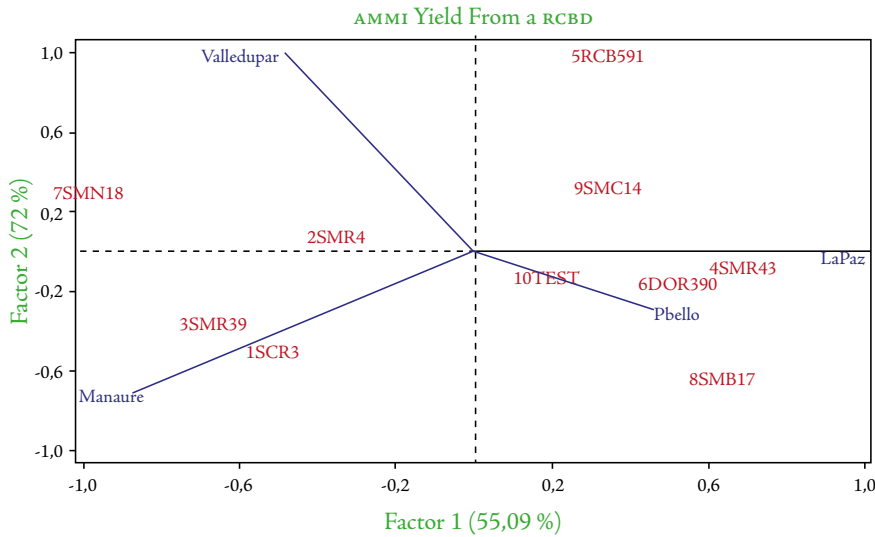


Figura 3. Análisis AMMI. Resultados de evaluación multilocal de frijoles biofortificados en la región natural del Caribe seco.
Fuente: Elaboración propia

El análisis ammi permitió identificar localidades de Nariño que maximizan la expresión del germoplasma, como Sandoná, y localidades que limitan la expresión, como Bomboná. También ayudó a identificar de qué manera en el Caribe seco genotipos adaptables y estables, como el testigo y AFR735, se mostraron adaptables y estables, pero con productividad por debajo del promedio general. Aunque

los genotipos A36, AFR298, AND277, CHOCHO, PVA773 y Radical Cerinza fueron adaptables, tuvieron comportamiento impredecible; G5708 con una media de 838,5 kg/ha⁻¹ mostró mejor desempeño en ambientes favorables, aunque inestable, mientras que BRB181 se desempeñó mejor en ambientes desfavorables y fue estable (Checa et al., 2011).





Generalidades sobre la biofortificación de frijol en Colombia y el Caribe

La masificación de los cultivos mejorados nutricionalmente busca disminuir deficiencias nutricionales presentes en la población del planeta. Este tipo de cultivo ofrece al productor la mejora de las condiciones nutricionales de su núcleo familiar, debido al autoconsumo, las buenas características sensoriales y la posibilidad de disponer de una materia prima con valor agregado que conserve su contenido nutricional, aun después de las pérdidas normales en el proceso de transformación. Sin embargo, la adopción de los alimentos biofortificados requiere un proceso intenso de selección participativa, desarrollo de un sistema de producción y distribución de semilla, además de un paquete tecnológico sostenible que disminuya el impacto ambiental y los costos de producción (Tofiño-Rivera & Tofiño-Rivera, 2013).

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 este producto. En 2010, se liberaron en Zimbabue y Malawi variedades de frijol con más contenido de hierro y zinc (Tofiño et al., 2011). También en Nicaragua se ha estudiado la aceptación por parte de los productores de variedades biofortificadas de frijol (Carrillo Centeno, Chow, Cuadra, Brenes, & Pachón, 2011). Los genotipos de frijol biofortificado andino NUA35 y NUA56 se han evaluado en Costa Rica, Guatemala y Colombia, y gracias a esto se ha demostrado estabilidad y superioridad en el contenido de micronutrientes en la semilla con respecto a variedades comerciales (Blair, Monserrate, Beebe, Restrepo, & Ortubé Flores, 2010). Adicionalmente, el CIAT ha desarrollado materiales de frijol con contenido superior de hierro, zinc y características agronómicas superiores (Tofiño-Rivera et al., 2011). De igual forma, se ha verificado el efecto positivo de la ingesta de frijoles biofortificados sobre el metabolismo del hierro en humanos, indistintamente del origen de domesticación, color de la testa y diversidad en la concentración de polifenoles y fitatos. Estos últimos son inhibidores de la biodisponibilidad del hierro presente en la semilla (Percty Cesar, 2012; Tako, Blair, & Grahn, 2011; Tako, Laparra et al., 2009; Tako, Glahn et al., 2009; Tofiño-Rivera et al., 2012).

El CIAT, a través de sus programas de mejoramiento de frijol y HarvestPlus, obtuvo poblaciones avanzadas de frijoles mesoamericanos por medio de cruzamientos dobles entre genotipos interespecíficos con alto contenido de hierro, genotipos élite de alto hierro, tolerantes a sequía y con alto rendimiento, a partir del cual se pasó de una línea base de 50 a 110 ppm de Fe y 20 a 45 ppm de Zn (Beaver & Osorno, 2009; Pfeiffer & McClafferty, 2008; Tofiño-Rivera, 2011) (figuras 4 y 5).

¿Qué son cultivos biofortificados?

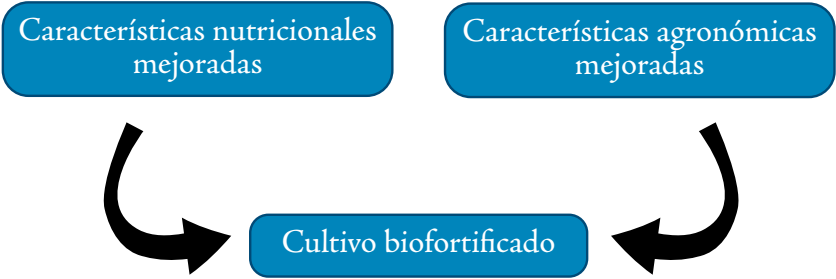


Figura 4. Esquema de trabajo para la obtención de cultivos biofortificados.
Fuente: Elaboración propia

¿Cómo se desarrollan los cultivos biofortificados?

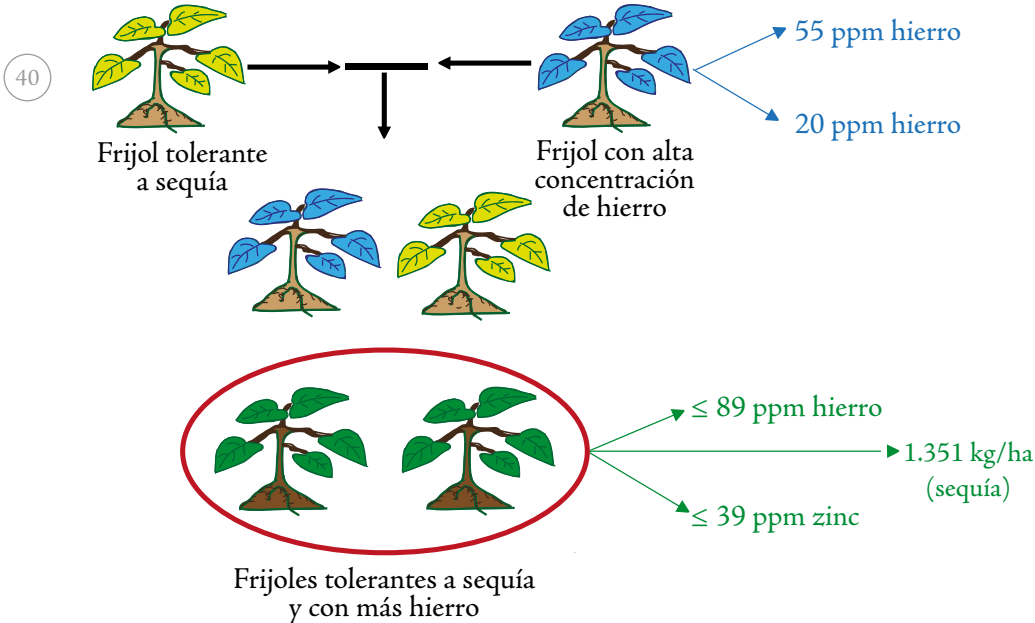


Figura 5. Esquema para la producción de frijoles biofortificados para las condiciones agroecológicas del Caribe seco.
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 6 se presentan los resultados del análisis de varianza para variables del contenido de minerales en la semilla de genotipos de frijol biofortificado de la prueba de evaluación agronómica, llevada a cabo en cuatro ambientes de la subregión natural del Caribe seco. Se detectaron diferencias altamente significativas en el efecto de genotipo, solo para el contenido de hierro en la semilla ($p < 0,01$). Tanto en

contenido de hierro como de Zn, se presentaron diferencias significativas en el efecto interacción localidad/repetición. El grupo de biofortificados se diferenciaron estadísticamente del testigo regional que alcanzó 57,33 ppm de hierro mientras que el mejor biofortificado (SCR3) acumuló 127,78 ppm de hierro. En cuanto al contenido de Zn, los biofortificados no se diferenciaron estadísticamente del testigo regional (tabla 7).

Tabla 6. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado y comparación de las medias para variables de contenido de minerales en la semilla de genotipos de frijol biofortificado

Fuente de variación	G.L.	Cuadrados medios	
		Contenido de Fe	Contenido de Zn
Genotipo (G)	9	2191,80612*	39,985630 ns
r × l	4	5037.73654**	503,089032**
Error	31	620,2	19,97
cv (%)	26,2		13,4

*, ** = niveles de significancia al 0,05 y 0,01, respectivamente; ns = no significativo; cv = coeficiente de variación. Fuente: Elaboración propia, a partir de la prueba de evaluación agronómica realizada en cuatro ambientes de la subregión natural del Caribe seco

Tabla 7. Comparación de medias de contenido de Fe y Zn de germoplasma de frijol biofortificado cosechado en el Caribe seco

Genotipo	Contenido de Fe	Contenido de Zn
SMR43	127,78 (a)	34,35 (a)
SMN18	115,46 (ab)	36,62 (a)
SMC14	107,56 (abc)	32,94 (a)
SMR4	103,94 (abc)	33,90 (a)
SMB17	100,74 (abc)	36,00 (a)
SMR39	88,62(abc)	34,74 (a)
RCB591	82,02 (abc)	32,48 (a)
DOR390	78,35(abc)	31,97 (a)
SCR3	60,85 (bc)	27,77 (a)
testigo	57,33 (c)	27,00 (a)
Promedio	95,05	33,17
DMS	57,2	10,27

Nota: () indica el lugar ocupado por el genotipo. Medias con la misma letra en sentido vertical son estadísticamente iguales con $p < 0,05$ (Tukey); DMS = diferencia mínima significativa; SMR39 se registró como frijol biofortificado Corpoica Rojo 39; SMR43 se registró como frijol biofortificado Corpoica Rojo 43. Fuente: Elaboración propia

En 2016 la alianza HarvestPlus-Fenalce lanzó dos variedades de frijol biofortificado arbustivo BIO101 y BIO107 de tipo radical para Santander, Cauca, Huila, Tolima y Valle

del Cauca, con 83 ppm de Fe y 44 ppm de Zn. Asimismo, en 2019 se liberó la nueva variedad voluble tipo calima BIO102 1.600-2.200 m s. n. m. (Duarte, 2017).





Generalidades de los factores fisiológicos que determinan la adaptación del frijol a las condiciones del Caribe seco

En la actualidad la producción agrícola se enfrenta a diversos problemas, por ejemplo, a la desertificación en zonas cálidas, proceso en el que los suelos de ecosistemas áridos, semiáridos o subhúmedos secos pierden la capacidad parcial o total de desarrollar procesos biológicos, debido a diversos factores como las variaciones climáticas y las actividades humanas (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2005). En este sentido, se han registrado los riesgos de la producción agrícola derivados de la fase cálida de los ENOS en Centro América y Colombia, aspecto que afecta la productividad de cultivos anuales en un 35 % y las predicciones del cambio climático para la costa Caribe en cuanto al incremento de la temperatura en al menos 2 °C (Brenes & Bonilla, 2010; Lau, Jarvis, & Ramírez, 2011).

Las plantas responden de manera variable frente al calor, dependiendo de la intensidad y duración del estrés, aunque en todos los casos la respuesta se relaciona con la detoxificación de especies reactivas de oxígeno ROS, que afectan la integridad de membranas celulares y organelas (Hasanuzzaman, Nahar, Alam, Roychowdhury, & Fujita, 2013). En general, se ha identificado que la alta temperatura afecta la integridad de las membranas celulares en los cultivos (Chávez & Gutiérrez, 2017). Las temperaturas altas pueden reducir la tasa de fotosíntesis a través de cambios en la membrana, en la organización estructural y en las propiedades fisicoquímicas de los tilacoides. En este sentido, se han hecho numerosos ensayos para determinar la temperatura base del frijol, que es la mínima requerida para mantener las funciones metabólicas, en especial la expansión foliar: 10 °C, pero se han registrado valores inferiores a 8,3 °C. Así, pues, conocer el efecto de la temperatura en los cultivos es importante para determinar su influencia en el desarrollo del área foliar y la acumulación de materia seca durante el ciclo biológico de la planta (Barrios-Gómez, López-Castañeda, & Kohashi-Shibata, 2011).

El frijol presenta limitación en su productividad en zonas cálidas a causa de las altas temperaturas nocturnas mayores a 24 °C sobre la diferenciación del polen y la producción de semilla, lo que afecta el rendimiento final. Las plantas de frijol pueden alcanzar buena producción de brote, floración prolongada, abscisión floral, bajo cuajado de vainas, bajo rendimiento y granos deformados (Beebe et al., 2011).

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), al ser originario de las tierras altas de América Central y los Andes, está adaptado a las temperaturas moderadas. Las altas temperaturas durante la floración ocasionan estrés fisiológico en el frijol y abscisión excesiva de los órganos reproductivos, lo cual repercute en el rendimiento. Los efectos del estrés por calor son mayores durante la fase reproductiva respecto a la fase vegetativa en muchos cultivos, entre ellos el de frijol, y el sistema reproductor masculino es mucho más susceptible que el femenino frente al estrés por calor (Porch & Jahn, 2001). Sin embargo, el germoplasma de *Phaseolus vulgaris* presenta diversidad en la tolerancia al estrés por calor; además, puede utilizarse en programas de mejoramiento genético para zonas cálidas (Barrios-Gómez et al., 2011).

46

En este sentido, para atender los problemas de desnutrición y hambre en las zonas áridas, el programa de mejoramiento de frijol del CIAT ha desarrollado múltiples poblaciones derivadas entre parentales interespecíficos y genotipos tolerantes al calor para mejorar la productividad de *Phaseolus vulgaris* en estas zonas (Polanía et al., 2009).

La obtención de nuevos cultivares de frijoles tolerantes al calor debe superar las restricciones fisiológicas ocasionadas en la formación y viabilidad del polen. Así, se ha definido que la temperatura alta ($> 30^{\circ}\text{C}$ en el día o $> 20^{\circ}\text{C}$ en la noche) —como las observadas en el Caribe seco— durante la etapa de antesis y establecimiento del número de semillas, disminuye la producción de frijol cuando la humedad relativa es baja, ya que las temperaturas altas nocturnas tienen efectos más adversos que las temperaturas altas en

el día. Las temperaturas altas reducen la viabilidad del polen, el crecimiento del tubo polínico y la fertilización del ovario; aceleran la tasa de desarrollo de la planta y acortan el periodo de crecimiento de los órganos reproductores; además, causan excesivo aborto de flores y vainas jóvenes, aceleran el llenado del grano y reducen el número de semillas por vaina, el tamaño de semilla y el rendimiento (Barrios-Gómez et al., 2011).

Por otro lado, evaluaciones en zonas secas de México demostraron que en el cultivo de frijol la temperatura del aire se relacionó estrechamente con la temperatura del dosel del cultivo, y esta aumentó al disminuir el contenido de agua del suelo y el potencial hídrico foliar de las plantas durante la floración. Los genotipos que mantuvieron un grado más alto de turgencia conservaron la temperatura de su follaje más baja. La alta temperatura de la planta redujo el rendimiento de semilla, la biomasa aérea final, el número de vainas normales m^{-2} y el peso de 100 semillas (Porch & Jahn, 2001).

La termoeestabilidad de la membrana celular mediante la medición de la pérdida de electrolitos por daños ocasionados a la membrana es un criterio fisiológico de selección indirecto; en el caso del frijol se identificó la floración como la etapa más sensible en frijol a este tipo de daño (Nava, 2013). Los *drought-responsive element binding factor* (DREB) son factores de transcripción asociados a la respuesta general de las plantas al estrés abiótico, como alta temperatura, frío y desecación, lo que actúa sobre la expresión de genes inducidos en especial por la ruta independiente de *aba phytohormone abscisic acid* (ABA). La variabilidad de los DREB puede asociarse a la tolerancia general a estrés abiótico (Lata & Prasad, 2011).

Se han identificado en diferentes cultivos, incluido el frijol, *quantitative trait loci* (QTL) asociados a la tolerancia al estrés por alta temperatura y por déficit hídrico. La respuesta de la planta a dichos estreses implican la expresión de genes comunes y diferentes. Específicamente, el estrés por calor implica la expresión de los genes HSF, mientras que el estrés por alta temperatura implica la expresión de los genes que codifican las proteínas LEA. No obstante, los genes que codifican la superóxido dismutasa incrementan la expresión bajo ambos estreses. En el caso del frijol, la respuesta al déficit hídrico se asoció inicialmente con cambios morfológicos en la expansión lateral de la raíz. No obstante, en la actualidad, se ha asociado con la longitud de la raíz pivotante, con los cambios en la conductancia estomática, con la viabilidad de polen y alocación de fotosintatos a la vaina y el grano (Barrios-Gómez et al., 2011).

La investigación en frijoles de bajo consumo hídrico y altas temperaturas se ha enfocado más que nada en centro América y África. En la primera se evaluaron frijoles a 50 m s. n. m. en el sur de Honduras, Costa Rica y Salvador, donde se obtuvieron líneas de frijoles rojos pequeños tolerantes al calor y resistentes al virus del mosaico dorado de frijol común (VMDf) (Rosas et al., 2000). De igual forma, en México se identificaron genotipos de buenas calidades agronómicas y tolerancia al calor a partir de la evaluación de caracteres agronómicos, como peso de

1.000 semillas, índice de susceptibilidad a calor para rendimiento de semilla, biomasa aérea final, número de semillas/vaina, número de vainas (Barrios-Gómez et al., 2011).

Las evaluaciones en campo de adaptación de germoplasma de frijol al estrés por calor están relacionadas con vigor (biomasa del brote e índice de área foliar), estatus hídrico de la planta (temperatura del brote y conductancia estomática), movilización de fotosintatos (índice de cosecha, índice de partición a vainas), contenido de nutrientes brote/semillas y características de la raíz (Polanía et al., 2009).

Estas características tienen una variabilidad limitada en el acervo de *Phaseolus vulgaris*, por lo cual se han realizado cruces dobles y triples con *Phaseolus coccineus* y *Phaseolus acutifolius*, que conllevan la necesidad de aplicar estrategias biotecnológicas como el rescate de embriones para mantener la progenie. En este sentido, el CIAT ha desarrollado las líneas SEF, que son progenies F6 de los cruces interespecíficos con retrocruza a variedades comerciales con tolerancia moderada al estrés abiótico y buenas características comerciales de grano. También se han desarrollado las líneas SER, con características similares de tolerancia a ambientes secos y cálidos. Las líneas SER y SEF son las que actualmente se evalúan en el Caribe (CIAT, 2010; Frahm et al., 2004; Hernández & Araya, 2003) (tablas 8 y 9).

Tabla 8. Viabilidad de polen de las 36 líneas de frijol (SER y SEF) tolerantes a estrés por altas temperaturas en la primera siembra realizada en Codazzi, Cesar

Línea-surco		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total	V+NV	% de viabilidad
21-22	v	0	4	4	15	5	2	2	2	1	5	40	190	21,05
SEF4	nv	10	6	27	32	18	9	10	9	22	7	150		
15-16	v	2	5	4	2	4	7	3	5	3	1	36	203	17,73
SEF10	nv	20	8	19	18	42	9	9	11	13	18	167		
3-4	v	2	2	1	0	0	0	2	3	2	1	13	201	6,47
SEF14	nv	13	13	26	20	21	16	17	25	20	17	188		
37-38	v	20	9	26	15	12	9	3	5	10	12	121	286	42,31
SEF16	nv	34	9	38	19	7	13	15	9	12	9	165		
35-36	v	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	144	-
SEF22	nv	20	21	10	13	21	11	13	11	11	13	144		
17-18	v	4	17	3	4	4	1	7	6	3	9	58	241	24,07
SEF25	nv	20	52	15	14	8	9	12	16	17	20	183		
9-10	v	13	3	9	6	8	7	9	9	11	5	80	203	39,41
SEF43*	nv	18	17	19	7	14	4	11	4	13	16	123		
13-14	v	0	4	3	9	5	1	0	1	5	9	37	163	22,70
SEF52	nv	22	21	8	2	7	10	13	17	7	19	126		
7-8	v	2	2	1	0	2	7	5	4	8	1	32	252	12,70
SEF54	nv	8	45	20	11	29	18	33	31	13	12	220		
53-54	v	1	1	1	0	2	0	0	1	1	0	7	187	3,74
SEF55	nv	13	18	11	18	25	27	19	25	10	14	180		
11-12	v	4	6	11	12	2	4	6	7	7	4	63	229	27,51
SEF59	nv	24	14	27	25	11	15	11	18	11	10	166		
51-52	v	10	10	11	14	14	15	12	12	14	14	126	157	80,0
SEF60*	nv	1	2	1	2	1	1	1	10	1	10	131		
29-30	v	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	160	0,63
SEF62*	nv	22	16	20	15	12	11	25	15	11	12	159		
19-20	v	30	40	20	20	26	20	30	20	20	30	256	404	63
SEF64*	nv	19	13	15	14	16	10	22	10	14	15	148		
71-72	v	10	10	10	11	20	20	20	13	10	21	143	190	75
SER101	nv	2	5	1	2	7	0	2	10	2	16	47		
33-34	v	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	100	1,00
SER102	nv	3	1	1	2	23	22	15	6	9	17	99		

(Continúa)

(Continuación tabla 8)

Línea-surco		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total	V+NV	% de viabilidad
43-44	v	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	141	1,42
SER109	nv	5	11	9	17	10	28	23	7	18	11	139		
23-24	v	0	0	0	0	2	0	0	0	1	0	3	106	2,83
SER118	nv	4	17	8	17	11	9	5	11	10	11	103		
1-2	v	1	1	0	1	1	1	0	0	0	2	7	100	7,00
SER216	nv	6	9	7	5	9	10	13	5	21	8	93		
39-40	v	6	4	5	1	5	3	1	3	1	4	33	125	26,40
SER271	nv	11	7	7	7	10	9	15	3	12	11	92		
31-32	v	19	3	7	11	18	31	16	6	54	10	175	237	73,84
SER289	nv	9	8	8	6	9	9	3	4	3	3	62		
59-60	v	9	10	11	13	7	17	11	13	11	4	106	231	45,89
SER299	nv	17	10	17	18	9	8	7	19	14	6	125		
67-68	v	6	5	6	9	6	10	6	8	14	6	76	105	72,38
SER334	nv	4	4	4	2	2	2	2	3	2	4	29		
5-6	v	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	103	0,97
SER336	nv	14	10	8	10	11	12	9	12	10	6	102		
25-26	v	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	103	-
SER338	nv	12	10	12	10	12	12	7	11	8	9	103		
47-48	v	8	6	0	3	5	3	5	3	8	5	46	118	38,98
SER347	nv	9	8	7	7	5	6	5	5	8	12	72		
65-66	v	19	19	13	9	9	17	10	25	8	15	144	176	81,82
SER352	nv	1	2	2	1	3	3	2	10	3	5	32		
57-58	v	4	13	6	4	13	10	6	11	6	6	79	196	40,31
SER339	nv	8	13	12	14	14	17	10	5	7	17	117		
69-70	v	3	0	1	1	1	2	0	0	0	1	9	155	5,81
SXB747	nv	7	21	12	20	8	8	18	22	11	19	146		
135-136	v	6	7	5	3	10	11	11	10	18	4	85	155	54,84
SEN22	nv	12	4	4	11	1	1	8	13	12	4	70		
45-46	v	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	219	0,46
SMR45	nv	16	21	13	13	22	16	37	26	27	27	218		
61-62	v	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	143	-
SMR113	nv	12	13	10	19	11	15	10	12	25	16	143		

(Continúa)

(Continuación tabla 8)

Línea-surco		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total	V+NV	% de viabilidad
63-64	v	2	5	2	2	3	0	3	2	3	4	26	170	15,29
SMR114	nv	12	15	13	16	16	11	19	18	13	11	144		
49-50	v	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	191	-
SMR122	nv	36	15	14	18	17	27	15	11	15	23	191		
56-56	v	5	8	35	22	21	40	3	9	21	12	176	272	64,71
G122	nv	5	3	18	18	8	9	7	8	9	11	96		
205-206	v	4	17	15	15	26	10	8	12	7	14	128	224	57,14
EAP9653-16B	nv	5	3	18	18	8	9	7	8	9	11	96		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. Análisis de conglomerados a partir de los datos de variables productivas bajo condiciones de calor (Centro de Investigación Motilonia) de las líneas SER y SEF

Grupo	Línea N.º	Peso de semillas × surco en gramos	Peso promedio × semillas gramos	Semillas normales	Semillas anormales	Número total de vainas × parcela	Número de plantas × parcela	Número de plantas cosechadas × parcela	Promedio vainas × plantas cosechadas
1	ALB74	12,61	0,1	50,3	0	43,7	26	5,7	4,4
1	INB841	100,1	0,4	377,7	78,7	304,7	55	31	9,8
1	SEF11	59,4	0,3	231	10	145,7	31,7	17	8,6
1	SEF16	126,8	0,4	393	184	219,7	30	18,3	12,6
1	SEF17	66,2	0,4	235,3	37,7	196,3	58,7	36,3	6,4
1	SEF29	95,2	0,8	277,7	15,7	152,3	68	38	3,9
1	SEF73	23,8	0,3	91,3	5	57,7	45,3	16,3	1,7
1	SEF74	83,3	0,4	336	19,3	187,7	58,7	42	4,6
1	SEF9	80,3	0,4	323,7	19,7	206	65,3	35,7	8,2
2	EAP9510-77	384,4	1	951	64	516,3	84,7	62,7	7,7

(Continúa)

(Continuación tabla 9)

Grupo	Línea N.º	Peso de semillas × surco en gramos	Peso promedio × semillas gramos	Semillas normales	Semillas anormales	Número total de vainas × parcela	Número de plantas × parcela	Número de plantas cose- chadas × parcela	Promedio vainas × plantas cosechadas
2	SEF10	324,8	0,5	1154,3	104	557,3	71	56	10,4
2	SEF42	309,7	0,5	999,3	30,7	491	81	52,7	9,3
2	SEF55	294,3	0,5	1128,3	63	467	69,7	55,3	8,4
2	SEF56	237,3	0,5	958,7	51,7	386,7	64,3	47	9,8
2	SEF69	240	0,4	1011,7	193,7	596,3	92,7	71	8
2	SEF70	233	0,5	953,3	111	467,7	88	74,3	6,8
3	G40001	406	0,2	2105,3	1267,3	977,7	94,7	81,7	17,9
4	RCB593	216,5	0,4	796,7	15,7	458,3	50,7	29,3	18,4
4	SEF1	178,3	0,5	693,7	52	349	77	55,3	6,2
4	SEF14	262,7	0,5	729,7	302,3	404	42	34,7	10,9
4	SEF15	226,8	0,5	609,7	292,7	436,3	68	46,3	9,1
4	SEF28	154,1	0,5	696	24,7	331,3	77	37	10,7
4	SEF44	205,2	0,5	803,7	30,3	426	51	39,7	10,7
4	SEF45	214,4	0,5	835,7	48	416	39	32	13,2
4	SEF47	232,9	0,6	734,7	73	416,3	74,3	45,3	9,5
4	SEF49	183,5	0,5	630,3	58,7	441,3	70,3	47,7	10,8
4	SEF52	219,6	0,6	764,3	75,7	512	59,7	47	11,1
4	SEF53	131,6	0,4	509	39	349	57,3	47	8
4	SEF68	145,4	0,4	559	52,3	401	88,7	51	9,1
4	SEF71	259,8	0,8	719,7	39,7	546,7	93,3	62	9,2
4	SER16	191,9	0,4	792	13,3	445,3	52	26,7	17,1
5	SEF43	333,2	0,5	1230,3	204,3	630,7	59,3	51,3	12,2
5	SEF60	424,1	0,6	1256	162	611,7	67,7	59,7	10,1
5	SEF62	318,3	0,5	1256	137	726,7	96,3	78,7	9,2
5	SEF64	351	0,5	1308,3	81,7	715	93,3	77,7	9,6

Fuente: Elaboración propia

Las variables que explican la tolerancia de los genotipos a calor son: peso promedio de semilla, semillas normales y promedio de vainas por planta cosechada (figura 6). De acuerdo con esto, los genotipos ubicados en el conglomerado número cinco presentaron los mayores valores para estas variables. Así, se encontró que estos genotipos (SEF43, SEF60, SEF62, SEF64) mostraron porcentajes de viabilidad de polen entre 39 % y 80 % (figura 7); por tanto, este indicador fisiológico es interesante en cuanto a la evaluación de tolerancia del frijol común a las condiciones de calor en el Caribe seco. Es importante resaltar la accesión G40001 que presentó un buen comportamiento, pero su tamaño fue muy pequeño (corresponde a un genotipo de *P. acutifolius*).



Foto: Adriana Patricia Tofino Rivera

Figura 6. Evaluación de semillas viables como criterio de adaptación del frijol a la alta temperatura.

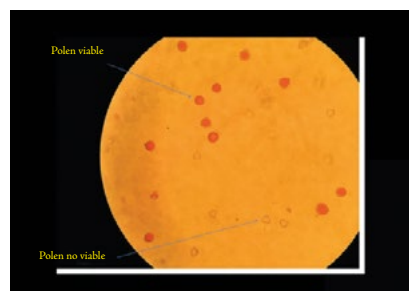


Foto: Adriana Patricia Tofino Rivera

Figura 7. Viabilidad de polen líneas sef 6×6×3×4 (Centro de Investigación Motilonia), siembra de 2014 (10x).

En la costa Caribe, en época del fenómeno de El Niño, se registran volúmenes de precipitación (vp) subnormales, y con el de La Niña hay lluvias superiores a las normales. En este sentido, se produce una afectación directa sobre el frijol, ya que este disminuye su rendimiento si los vp en la primera y segunda estación lluviosa están por encima de lo normal, y aumenta si es época de veranillo (Ruiz Cabarcas & Pabón Caicedo, 2013). Además, según predicciones de modelos climáticos, la mayor parte de América Latina y el Caribe experimentará aumentos significativos de temperatura y cambios en la precipitación para el 2050. En Guatemala, Colombia y Jamaica, por ejemplo, estos cambios plantearán serios desafíos para las cadenas de suministro de alimentos frente a la creciente demanda. Dejar rezagar la producción de cultivos no solo reducirá los ingresos nacionales y el crecimiento del sector privado, sino que además pondrá en riesgo la seguridad alimentaria y los medios de vida de miles de pequeños agricultores. Los responsables de formular las políticas deben empezar desde ahora a minimizar los impactos socioeconómicos del cambio climático mediante un esfuerzo coordinado para identificar opciones proactivas de adaptación, que tengan en cuenta los diferentes grados de vulnerabilidad en todas partes, cultivos, cadenas de suministro y culturas (Lau et al., 2012). Asimismo, se ha documentado el efecto del incremento de la temperatura sobre el índice de desertificación de suelos (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam] et al., 2014).

Específicamente, en el Caribe se ubican varios departamentos colombianos con mayor grado de afectación por desertificación: Atlántico y Guajira con el 75 %, seguido de Magdalena,

Sucre y Córdoba con 50-70 % de su extensión, lo cual limita su productividad agropecuaria (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2005). El frijol es un cultivo incluido en la dieta regional (Del Castillo, Fonseca, mantilla, & Medina et al., 2012), y existen registros documentados acerca de su efecto rizomejorador de la calidad del suelo (Mujica, 1994). Por tanto, es necesario

mantener los objetivos de fitomejoramiento en la obtención de variedades de alto valor nutricional y tolerantes al calor, pues con la predicción climática en cuanto al incremento de temperatura los cultivos de zona cálida y media deberán establecerse a mayor altura en la Sierra Nevada de Santa Marta, lo que afectaría las zonas de reserva forestal y el nacimiento de los ríos.



Consumo de frijol común en el Caribe seco

El Caribe colombiano incluye ocho departamentos donde la producción de hortalizas y frijol está restringida a las zonas montañosas de clima medio, debido a la alta evapotranspiración de las zonas planas, la baja cultura de manejo de riego suplementario y la alta afectación por los fenómenos climáticos extremos (Ruiz Cabarcas & Pabón Caicedo, 2013). Adicionalmente, esta región se caracteriza por sus altos índices de pobreza extrema (Marrugo-Arnedo, Del Risco-Serje, Marrugo-Arnedo, Herrera-Llamas, & Pérez-Valbuena, 2015), inseguridad alimentaria y deficiencia de micronutrientes, los cuales podrían suplirse con una mayor disponibilidad de frijol en la región, de la que se reporta solo la producción del 25 % del consumo (Lissbrant, 2015).

Un aspecto fundamental que define el consumo y mercadeo del frijol es el tipo de semilla. En este sentido, cada país latinoamericano tiene sus gustos en las diferentes clases de frijol; por ejemplo, el caraotas se prefiere en Centro América y Venezuela, y el tipo seda, en Nicaragua. En Colombia el principal mercado está asociado a los cargamanto, aunque también se comercializan los calima, zaragoza, etc. En las regiones de ladera de Colombia (zona cafetera), los frijoles de grano rojo (entero o moteado) y de forma más bien redonda y elipsoide son los preferidos. En zonas más bajas por los que más se opta son los blanquillos, de grano pequeño a mediano. Las tres primeras variedades colombianas desarrolladas por hibridación fueron las líneas diacol calima, nima y gualí, que llegaron a convertirse en las tres variedades de hábito determinado, grano rojo moteado, más conocidas. Como productos Corpoica se destacan las variedades froilán de clase comercial, radical y ARS59 clase comercial calima (Voysset, 2000). En las regiones de la costa Caribe los frijoles más consumidos son el zaragoza (rojo pálido), el caupí y el palomito o blanquillo (Tofiño-Rivera et al., 2011).

La situación de inseguridad alimentaria reportada en la costa Caribe (Lissbrant, 2015) puede mitigarse con la oferta de variedades mejoradas con grano mercadeable y alta adaptación a las zonas cálidas. El frijol se constituye en una excelente opción porque posee proteína, hierro y zinc; además, está incluido en la canasta básica colombiana y presenta un consumo per cápita de 2,8 kg/persona año (Beebe et al., 2011). Es necesario resaltar que la producción nacional está orientada principalmente a abastecer la demanda interna y que los flujos de importaciones y exportaciones responden más a la necesidad de contrarrestar la marcada estacionalidad de la oferta interna. La estacionalidad en los precios mayoristas constituye uno de los principales problemas de la cadena (Gobernación del Cesar, 2012). El área actual de siembra de frijol en el Cesar es de más de 7.000 ha, mayor a las registradas en 2008

en el departamento (con 5.031 ha) y la cual se mantiene insuficiente para satisfacer la demanda regional de este alimento. Las principales constricciones de la competitividad de la cadena en la región están asociadas con los costos elevados de producción, inestabilidad de los precios de venta, derivados de la estacionalidad de la producción, baja productividad por hectárea (por debajo del promedio nacional), carencia de variedades mejoradas para ese ambiente meta y el costo económico y ambiental elevado del esquema de tecnificación (Gobernación del Cesar, 2012, 2016).

En resumen, la oferta de cultivares de frijol mejorado con alto contenido nutricional y tolerancia al calor constituiría una alternativa para optimizar la situación nutricional precaria descrita en la zona Caribe, acoplada a un paquete de producción sostenible que mitigue el efecto de la explotación agrícola sobre ecosistemas vulnerables susceptibles a la desertificación. De este modo, desde un esquema de desarrollo económico local, los excedentes de producción se absorberán en los mercados regionales por sus atributos de semilla comercial (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 2012)





Origen de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39

La variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 fue desarrollada por la alianza entre Corpoica y el CIAT, como alternativa nutricional para la subregión natural Caribe seco, donde presentó buen comportamiento agronómico, ciclo de cultivo corto y alta calidad nutricional. El CIAT desarrolló cruzamientos entre plantas de frijoles rojos y tolerantes a la sequía con frijoles de alto contenido de minerales en la semilla, a partir de los cuales se seleccionaron progenies (hijos) que expresaran estas características de manera conjunta. Con esto se obtuvieron materiales denominados sequia mineral rojo (SMR) con tolerancia moderada a la baja disponibilidad de agua, a las temperaturas superiores a 26°C, a los suelos de baja fertilidad y a las buenas características comerciales. Las líneas SMR, evaluadas por Corpoica en el Caribe seco entre 2009 y 2012, presentaron en promedio rendimientos por encima de 1,2 t/ha, alto contenido de micronutrientes en semilla (superiores a 70 ppm en Fe y 25 ppm de Zn) y 88 días desde el momento de la siembra hasta la cosecha. La genealogía de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 es (SXB407 × SER119) F1 × (MIB499 × MIB 602) F1/-MC-2P-MQ-16C-MC.

Como resultado de las pruebas de rendimiento multilocales llevadas a cabo en 2010, se inscribieron nueve genotipos para PEA ante el ICA, en cuatro localidades (Valledupar, Manaure, La Paz y Pueblo Bello) por dos semestres (2011B y 2012A) y una prueba semicomercial realizada en Manaure, Cesar (2012B). Los resultados de dicha prueba respaldaron el registro # FRJ-15-62 de la nueva variedad, según resolución ICA 1054 del 9 de abril de 2015.



Características de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39

Las variedades mejoradas se diferencian de los cultivares locales en múltiples características; entre ellas la productividad, la reacción a plagas y enfermedades, la respuesta al manejo agronómico, la tolerancia frente a los cambios climáticos extremos, suelos pobres, necesidades hídricas, etc. De igual forma, a nivel morfológico, la principal diferencia que permite distinguir un lote de una variedad local frente a un cultivo de una variedad mejorada de la misma especie es la homogeneidad de este último. De tal modo que las plantas de una variedad mejorada sembrada en su ambiente meta no presentarán variabilidad significativa respecto a las características descritas en la ficha técnica que respalda su registro en el libro de los cultivares nacionales del ICA; mientras que las variedades locales presentan alta heterogeneidad en sus caracteres morfoagronómicos, es decir, en las características de la planta, la semilla y la productividad. De acuerdo con lo anterior, la descripción de las características varietales permite no solo diferenciar una variedad mejorada respecto a otra de la misma especie, sino además proyectar cual será el rendimiento esperado bajo el manejo agronómico recomendado en el ambiente para el cual está registrada.

Periodo vegetativo

En suelos con contenido de humedad del 60 %, la plántula de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 emerge cinco días después de la siembra (Ríos Betancour, Quirós Dávila, & Arias, 2003). Esta variedad presenta un ciclo vegetativo de emergencia a madurez fisiológica de 66 ± 2 días y a cosecha de grano seco 84 ± 4 días. La floración se presenta a 43 ± 2 días después de la emergencia.

El ciclo fenológico del frijol común, desde germinación hasta cosecha, cuenta con diez fases bien diferenciadas (figura 6), que además se complementan con datos específicos de la nueva variedad en las fases de mayor relevancia en el desempeño agronómico, como su duración y ubicación en la escala de vida. También, para ilustrar las características morfológicas de cada fase del ciclo fenológico y facilitar su diferenciación en campo, se presenta la figura 8. Por último, se muestra un esquema abreviado de ciclo fenológico específico de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 (figura 9).

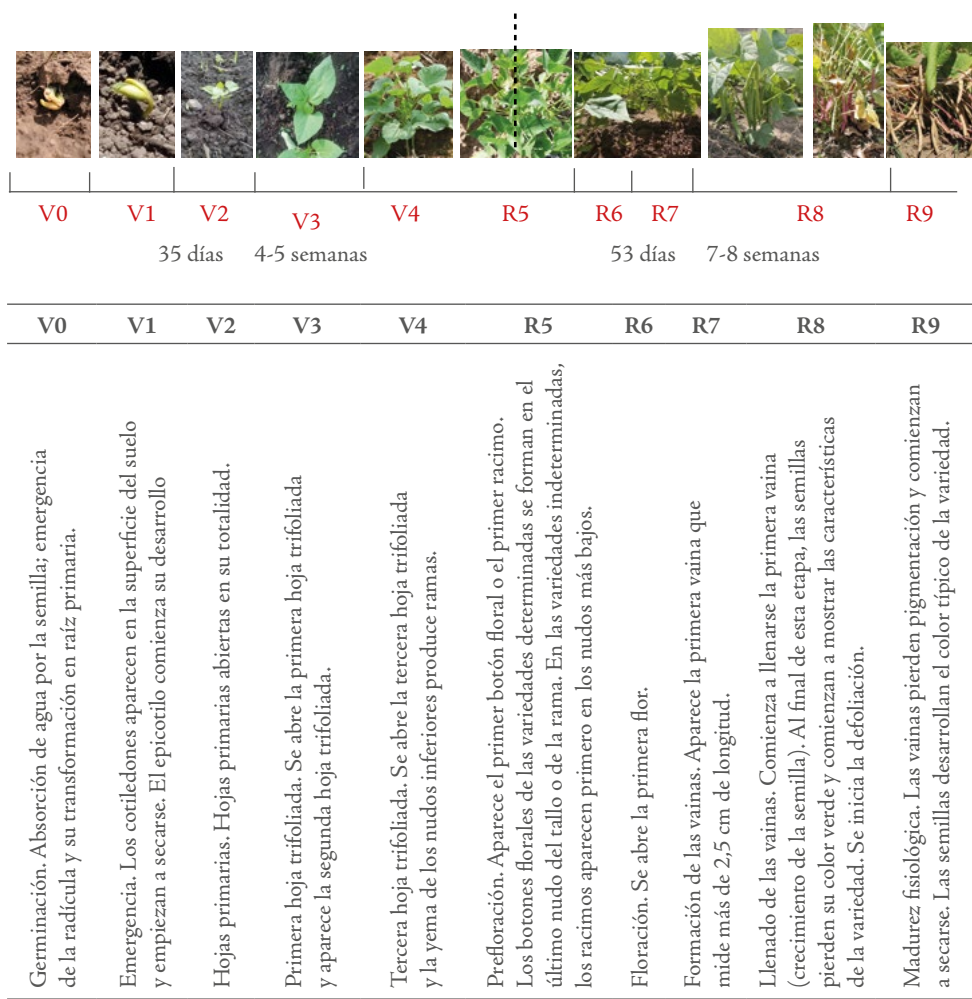


Figura 8. Ciclo fenológico de la variedad de frijol Corpoica Rojo 39 en el Caribe seco colombiano.
Fuente: Elaboración propia, a partir de Tamayo, Aguilar, & Velásquez (2013)

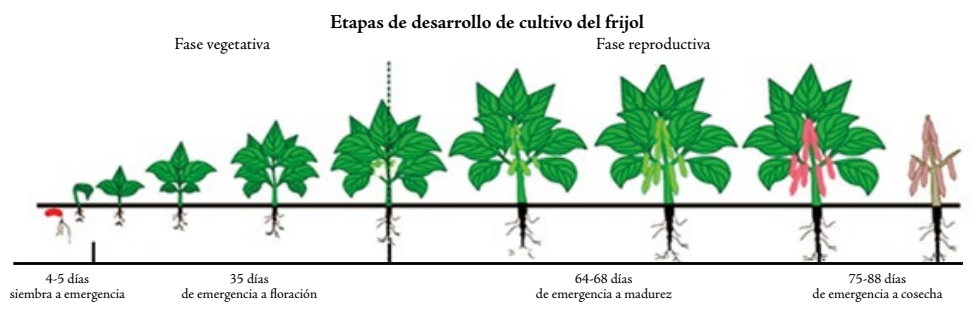


Figura 9. Fenología de la variedad de frijol Corpoica Rojo 39 en el Caribe seco colombiano.
Fuente: Elaboración propia, a partir de Vargas (2013)

Características de la semilla

Debido a las condiciones del Caribe seco, la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 tiene semilla mediana, roja opaca, forma redondeada-alargada, ligeramente cilíndrica-reniforme, con una longitud de 12 ± 2 mm, ancho de 7 ± 2 mm y peso de 100 semillas de 34 ± 2 g a una humedad del 12 % (figura 10). El tamaño de semilla mediano es superior al testigo local con tamaño pequeño de semilla (tabla 10). Respecto a las tipologías de semillas comerciales de frijol

en Colombia, y de acuerdo con la morfología de su semilla, el biofortificado se asocia al frijol radical (rojo ovalado). Las clases comerciales de mayor consumo en Colombia corresponden a la especie *Phaseolus vulgaris*, entre las que se encuentran: bolones, cargamantos, radicales y nima-calima. Las que no se pueden catalogar dentro de las condiciones anteriores se clasifican como los demás. Así, de acuerdo con las clases comerciales internacionales de frijol, correspondería a los *Dark red kidney beans* (Fenalce, 2004).



Fotos: Yanine Roza Leguizamón y Griselda Gómez

Figura 10. Semillas de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39. a. Semillas 12 % de humedad; b. De izquierda a derecha, evolución del desarrollo de las semillas en la vaina de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39, hasta alcanzar la madurez de cosecha (14 %).

Características de la planta

Las principales características morfológicas que describen la planta de frijol son las siguientes (Van Schoonhoven & Pastor-Corrales, 1987):

Altura de planta: se mide al final de la floración desde la base del tallo principal o punto de inserción de las raíces hasta el ápice del último racimo floral. Para el estudio se tomaron cinco plantas por parcela.

Hábito predominante del crecimiento del tallo: se estima de acuerdo con la moda de plantas muestreadas.

Color predominante de la hoja: se califica de acuerdo con la escala de colores.

Distribución predominante de las vainas en las plantas: se califica teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

1. Bajas
2. Altas
3. Distribuidas uniformemente
4. En la parte media

Color de las flores: se califica el color predominante del limbo del estandarte, según la tabla de colores.

Perfil predominante de la vaina: se califica en vainas secas teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

1. Recto
2. Medianamente curvo
3. Curvado
4. Recurvado

El equipo técnico del proyecto de frijol en el Caribe seco evaluó estas características en plantas de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39, respecto al testigo local (frijol negro arbustivo) en localidades de la Serranía del Perijá (La Paz y Manaure) y la Sierra Nevada de Santa Marta (Pueblo Bello y Valledupar), durante dos años (tabla 10).

Tabla 10. Características morfoagronómicas de la variedad Corpoica Rojo 39 frente al testigo local

Material	Testigo	SMR-39
Tipo de planta		
Altura de la planta (cm)	33,5	52,0*
Hábito de crecimiento	1	2 a-arbustivo* indeterminado de guía corta
Arquitectura	Erecta	Erecta
Tipo de hoja	Compuesta	Compuesta
Color de la hoja	Verde	Verde claro
Localización de vainas	En la parte media del eje del tallo	En la parte media del eje del tallo
Altura de carga (cm)	11,8	14,6*
Vainas/planta	19,99	19
Número de semillas/vaina	4,91	5,66*
Color de las flores	Violeta	Blanco con pigmento
Forma del perfil de la vaina	Recto	Medianamente curvo
Longitud de la vaina (cm)	9,2	11,9*
Anchura de la vaina (cm)	2,7	2,6
Recomendación siembra	Monocultivo	Monocultivo-asocio
Características de semillas		
Color	100 negro	10 rojo opaco
Forma	Alargada Casi cuadrada	Redondeada alargada, ligeramente cilíndrica reniforme
Longitud	1,16	1,19
Ancho	0,7	0,7
Contenido de proteína	20,5	27,2*

* Variables que diferencian la planta de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 del testigo local caraota.
Fuente: Elaboración propia

Algunas características morfoagronómicas de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39, como altura de la planta, hábito de crecimiento, altura de carga, número de semillas por vaina, longitud de la vaina y contenido de proteína, la diferencian del testigo local y le confieren ventajas comparativas para su siembra en el Caribe seco colombiano (tabla 10).

El hábito de crecimiento indeterminado arbustivo corresponde a plantas que terminan en una guía corta, sin aptitud trepadora, con

tallo erecto, pocas ramas y relativamente cortas respecto al tallo (Debouck e Hidalgo, 1985) (figura 11). La mayor proporción de la biomasa aérea (altura de planta y hábito) y la baja defoliación durante la finalización del ciclo de cultivo generan un subproducto de cosecha con calidad que puede aprovecharse para compostaje o alimentación animal, lo cual constituye un atributo de importancia para el mantenimiento de la calidad del suelo o la sustentabilidad de la agricultura familiar (Sarandón & Flores, 2009; Tofiño-Rivera et al., 2016b).

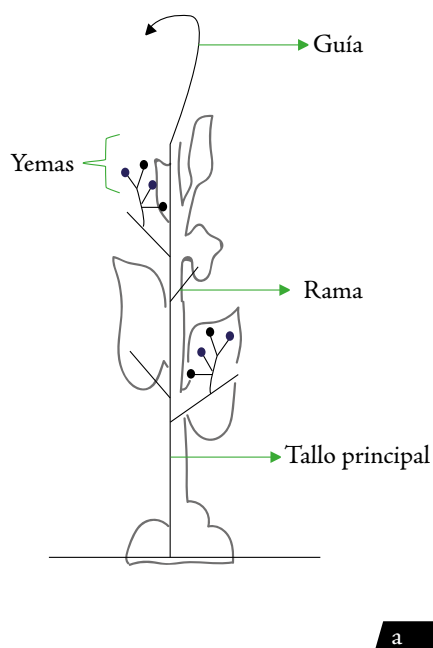


Figura 11. Hábito de crecimiento de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39. a. Arquitectura de la planta de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39. Tipo 2 arbustivo indeterminado de guía corta; b. Planta de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39.

Fuente: Elaboración propia, a partir de Pontificia Universidad Católica de Chile (s. f.)

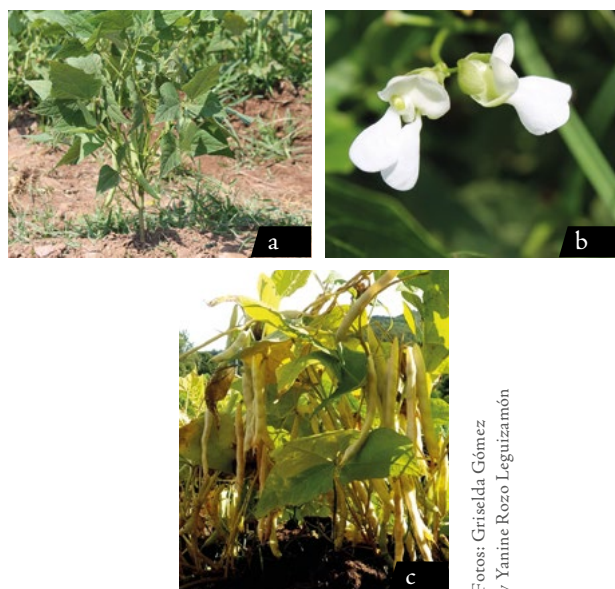
La altura de inserción de las vainas o altura de carga es un atributo relevante respecto al mantenimiento de la sanidad del cultivo, pues cuando las vainas tocan el suelo o se produce el salpique por la lluvia o el riego, se genera una pudrición que afecta la vaina y posiblemente a la planta entera o al lote de cultivo. Genotipos con mayores alturas de inserción como el biofortificado (tabla 10) requieren menores aplicaciones de fungicida preventivo o curativo cuando se presentan periodos de lluvia en el llenado o en la maduración de las vainas (Tamayo & Londoño, 2001).

Finalmente, es importante resaltar que el mayor rendimiento del frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 es gracias al mayor número de semillas por vaina y a la mayor longitud de estas respecto al testigo local. Esto considerando que, en cuanto a las variables productivas, el rendimiento se correlaciona de manera positiva con vainas/m²

y semillas/vaina (Nienhuis & Singh, 1986). Así, esta última variable es consistentemente superior en la variedad biofortificada.

Características agronómicas

La variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 es arbustiva, de hábito de crecimiento 2A-arbustivo indeterminado de guía corta, arquitectura erecta, altura de planta de 52 ± 8 cm, con vainas concentradas en la parte media del eje (tallo) y flores blancas; además, puede presentarse un volcamiento hasta del 15 % de las plantas por corrientes fuertes de viento > 9 km/h, o lluvias intensas. Por lo anterior, es recomendable el establecimiento de cultivos barrera, como el sorgo forrajero, alrededor del lote o realizar “encanastado” de las plantas afectadas (Corpoica, 2017a) (figuras 12 y 13).



Fotos: Griselda Gómez
y Yanine Rozo Leguizamón

Figura 12. Características morfológicas de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39. a. Planta completa en llenado de vainas; b. Flor; c. Planta con vainas maduras.



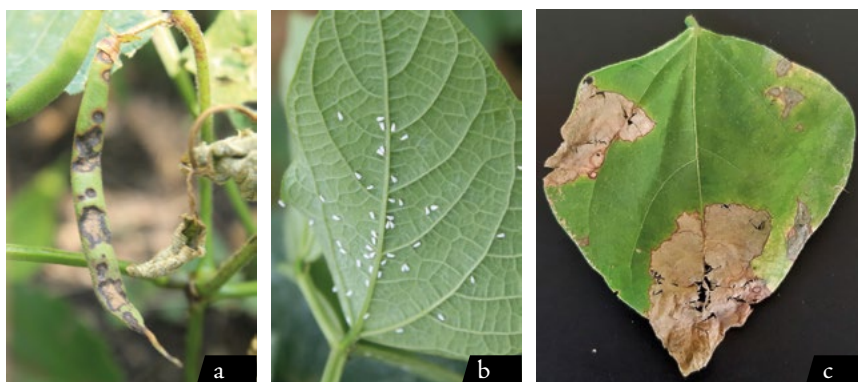
Fotos: Griselda Gómez y Yanine Roza Leguizamón

Figura 13. Estrategias para evitar daño por volcamiento. a. “Encanastado” de las plantas afectadas; b. Establecimiento de barreras vivas alrededor del lote de cultivo.

Se aplicó en la evaluación desarrollada la escala propuesta por Van Schoonhoven & Pastor-Corrales (1987) para medir la incidencia en frijol, en relación con la presencia y prevalencia de enfermedades y plagas limitantes en el Caribe seco (tabla 11); además, se registraron antracnosis y mosca blanca durante los monitoreos realizados en el primer semestre de 2011 (figura 14), año que mostró precipitaciones anuales de 1.050 mm en Manaure, 1.580 en La Paz, 1.050 en Valledupar y 1.359 en Pueblo Bello, Cesar, y temperaturas entre los 22°C y 27°C, según datos de las estaciones del Instituto de Hidrología, Meteorología y

Estudios Ambientales (Ideam). La presencia e incidencia de plagas y enfermedades puede variar dependiendo de la época de siembra y de los años. La variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 presentó menor afectación y se mantuvo en un valor de 1 en la escala de enfermedades y de 2-3 en plagas durante la evaluación de pre y posfloración; esto respecto al testigo de frijol tradicional colectado en fincas de productores, que evidenció mayor afectación en ambas evaluaciones sanitarias (tabla 11). Una de las mayores afectaciones del testigo local se presentó en la enfermedad del antracnosis (figura 14).

67



Fotos: Yanine Roza Leguizamón

Figura 14. Plagas y enfermedades limitantes prevalentes en el Caribe seco. a. Antracnosis, *Colletotrichum lindemuthianum*; b. Mosca blanca, *Bemisia tabaci*; c. Mustia hilachosa, *Thanatephorus cucumeris*.

Tabla 11. Evaluación de la presencia de plagas y enfermedades limitantes prevalentes en el Caribe seco, localidad de Manaure (2012B), en dos genotipos experimentales de frijol

Presencia de plagas y enfermedades, durante el ciclo del cultivo				
Genotipo	Antracnosis <i>Colletotrichum lindemuthianum</i> (Sacc. Et Magn.)		Mosca blanca <i>Bemisia tabaci</i> (Gennadius)	
	Prefloración	Posfloración	Prefloración	Posfloración
Variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39	1	1	2	3
Testigo	1	3	3	5

* Escala de daño de acuerdo con Van Schoonhoven y Pastor-Corrales (1987). El frijol caraota arbustivo no mejorado proveniente de fincas de productores del Caribe seco, aprobado como testigo por el ICA para las PEA de frijol en el Caribe seco. Los valores inferiores a 3 corresponden a menos del 10% de daño del área foliar, y 5, hasta un 30% de daño. En plagas, 3 corresponde a un 25% de daño y 5, a más del 40% (Tamayo, 1995). Esta evaluación corresponde a las pruebas semicomerciales supervisadas por el ICA.
Fuente: Elaboración propia

Producción de grano

En las tablas 12 y 13 se presentan los resultados del rendimiento de grano y sus componentes de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 frente al testigo, bajo condiciones del Caribe seco. El rendimiento de 1,280 t/ha alcanzado por esta variedad superó los indicadores de producción regional registrados (0,76 t/ha) y los del testigo regional (variedad local arbustiva de grano negro), que alcanzaron 0,9 t/ha, e igualó el rendimiento nacional (1,23 t/ha) (MADR, 2017a). Se puede observar que la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 presentó mayor número de vainas y semillas (25% y 15%

adicionales, respectivamente) y de peso (37% adicional). También aumentó en el contenido de micronutrientes (100% adicional de Fe y 40% adicional de Zn) (tabla 13), lo que le confiere valor agregado porque estos últimos contribuyen a la respuesta inmune, la función sanguínea y el crecimiento y el desarrollo neurológico de los fetos e infantes, tras incorporar dicha variedad de frijol en la dieta con consumos de tres raciones a la semana de 60 g cada una (Murray et al., 2017; Tofiño-Rivera et al., 2011). Por tanto, la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 ofrece ventajas para un mercado orientado hacia los programas de seguridad alimentaria en términos de calidad nutricional y funcional.

Tabla 12. Rendimiento y contenido de Fe y Zn promedio en las pruebas de evaluación agronómica, Caribe seco, 2011A

Genotipo	Rendimiento	Contenido de Fe*	Contenido de Zn
	kg ha ⁻¹	ppm	ppm
Variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39	1.280	98	37
Testigo (caraota)	900	43	23

* El contenido de Fe referido es el que se midió durante la prueba supervisada por el ICA. Resultados obtenidos en laboratorio del CIAT, Cali, con la técnica de difracción de rayos X (XRF).
Fuente: Corpoica (2015)

Tabla 13. Número de vainas por planta, número de semillas por vaina y peso de 100 semillas promedio en las pruebas de evaluación agronómica, Caribe seco, 2011A

Genotipo	Vainas/planta	Semillas/vaina	Peso de 100 semillas (g)
Variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39	20 ± 4	6 ± 1	33,5 ± 2
Testigo (caraota)	17 ± 3	5 ± 1	22,5 ± 3

Fuente: Corpoica (2015)

El desempeño agronómico de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 fue superior al testigo local en las evaluaciones multilocales, en criterios morfoagronómicos tan importantes como la precocidad y las variables que explican la productividad, por ejemplo, número de vainas por planta y número de granos por vaina. De acuerdo con las tablas 14 y 15, para las variables agronómicas evaluadas (días a cosecha, rendimiento, número de vainas/planta, número de granos/vaina) la variedad se diferenció estadísticamente del testigo regional en cada una de las localidades evaluadas.

Es de especial consideración el comportamiento en la variedad mejorada de rasgos como precocidad expresada en días a cosecha y rendimiento

y tamaño de la semilla, ya que estas características en conjunto favorecen la adopción por los productores, pues implican menores costos de producción, rentabilidad e inocuidad. Por tanto, la promesa de valor de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 incluye menor exposición del cultivo a las limitaciones ambientales y sanitarias, mayor producción por unidad de área y mayor aceptabilidad comercial. Manaure fue la localidad donde se expresó el mayor rendimiento de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 y el mejor fue en Valledupar (Tofiño-Rivera, Velásquez Agudelo, & Zapata Tamayo, 2016). Sin embargo, en todos los casos no solamente superó al testigo local del ensayo, sino que además se mantuvo por encima del promedio regional de frijol (800 kg/ha⁻¹) (Fenalce, 2010).

Tabla 14. Comparación del rendimiento de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 frente al testigo local

Rendimiento (kg/ha ⁻¹)	Pueblo Bello	Valledupar	La Paz	Manaure
Variedad frijol biofortificado Corpoica Rojo 39	1.101	934	1.034	1.500
Testigo local tipo caraota	799	443	620	802

Fuente: Corpoica (2015)

Tabla 15. Promedio de variables agronómicas y de rendimiento evaluadas a través de cuatro localidades

Localidad	Genotipo	Días floración	Días madurez fisiológica	Días a cosecha	Rendimiento (kg)	Vainas/ planta	Semillas/ vaina	Peso/1.000 semillas (g)
Valledupar	Corpoica Rojo 39	45	68	88	934	18,6	5,5	272
	Testigo	47	74	93	442,5	12	5,4	201,8
Pueblo Bello	Corpoica Rojo 39	43	68	88	1100,7	18,1	5,7	324,2
	Testigo	46	74	92	798,7	16,6	4,9	294,8
La Paz	Corpoica Rojo 39	41	64	80	1034,4	17,3	5,7	316,5
	Testigo	45	70	88	620	17,5	5,3	201
Manaure	Corpoica Rojo 39	38	63,3	82	1499,9	25,6	6	294,3
	Testigo	45	78,3	87	802,3	20,9	5,7	201,4

Fuente: Corpoica (2015)

La variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 se evaluó de manera ininterrumpida durante 12 ciclos, desde 2008 hasta 2014, en localidades contrastantes como la Serranía del Perijá y la Sierra Nevada de Santa Marta, y con características heterogéneas de suelos y precipitación (lluvia). En la Serranía del Perijá se presentan suelos fértiles pero pedregosos, con una precipitación menor que 280 mm, durante el desarrollo del cultivo; mientras que en la Sierra Nevada de Santa Marta hay suelos ácidos más profundos y una precipitación de 450 mm (las precipitaciones se tomaron durante el desarrollo de las PEA) (tabla 16).

La información agroclimática fue suministrada por el Ideam a partir de estaciones cercanas a los experimentos. En cuatro localidades de la

subregión natural se logró coleccionar información de temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin), humedad relativa (HR), precipitación total (Preto) y evapotranspiración de referencia (ETo) (tabla 16). Así, se observaron pocas diferencias entre las localidades evaluadas en las variables agroclimáticas registradas, excepto en la localidad de Pueblo Bello; también se pudo notar diferencia en el régimen hídrico entre la Serranía del Perijá y la Sierra Nevada de Santa Marta. La precipitación total corresponde a la registrada durante el ciclo fenológico del cultivo y se observó que con las condiciones de La Serranía del Perijá (La Paz, Manaure) y Valledupar la precipitación fue inferior a los requerimientos hídricos reportados para el frijol común. Lo anterior refleja la tolerancia del frijol biofortificado al déficit hídrico (tabla 16).

El cultivo de frijol necesita entre 300 y 400 mm de precipitación efectiva durante su desarrollo fenológico, por lo que se deben garantizar al menos 400 mm/ciclo para que la disponibilidad de agua en el suelo no se afecte por las pérdidas que causan los procesos hidrológicos (percolación profunda, drenaje superficial y subsuperficial, entre otros (Herrera Flores, Ortiz Cereceres, Delgado Alvarado, & Acosta Galleros, 2014). Por tanto, solo en Pueblo Bello se evidenció precipitación suficiente para facilitar el buen desarrollo del cultivo de frijol común durante el periodo de evaluación (primer semestre de 2012).

Además de su desempeño agronómico y de la adaptación de la variedad biofortificada a las características agroecológicas del Caribe seco, el valor agregado lo constituye el alto contenido de minerales como Fe y Zn, en su semilla. En el Caribe seco se registró un promedio de 86 ppm de Fe y 37 ppm de Zn, y se encontró que en los 12 análisis de semilla los contenidos de minerales fueron superiores al testigo local, y el contenido de proteína fue de 27,2% (Tofiño-Rivera et al., 2016a); este último dentro del rango normal registrado en frijol común (Jacinto Hernández, Carrillo Castañeda, & Campos Escudero, 1996) (tabla 16).

Tabla 16. Datos climáticos tomados de las estaciones agroclimáticas del Ideam, 2011

	T prom	T max.	T min.	HR	PRETO*	ETo	m s. n. m.
		°C	°C	%	mm	mm	
Manaure	24	33,2	22,9	59	386,6	474,0	1.135
La Paz	27	33,1	23,5	76	137,5	361,9	605
Valledupar	24	33,5	23,6	74	280,8	363,1	1.100
Pueblo Bello	22	22	17	85,4	450,2	280,9	1.186
Pueblo Bello	22	22,2	16,7	84,6	465,3	287,2	1.186

* Se incluyen datos de Pueblo Bello de 2011 para evidenciar la variabilidad climática en los dos años sucesivos.
Fuente: Corpoica (2015)

Los resultados de las evaluaciones de contenido nutricional de semilla en cuatro localidades arrojaron que el promedio de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 fue superior al testigo en cada localidad evaluada (Manaure, Valledupar, La Paz, Pueblo Bello). Mientras que la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 alcanzó en promedio multilocal 86 ppm de Fe y 37 ppm de zinc, el testigo local caraota registró 42 ppm de hierro y 28 ppm de zinc. La variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 se mantuvo en cada localidad dentro de rangos superiores, según la ingesta diaria recomendada (IDR) para contenido de Fe y Zn

(Alentado Morell, Cabo Masip, Victoria Miñana, & Dalmau Serra, 2010). Como puntos de referencia para calificar el contenido nutricional de frijol, el laboratorio de calidad nutricional del CIAT utiliza en cada análisis el testigo DOR390 (59 ppm de hierro y 25 ppm de zinc), considerado como el referente del contenido nutricional de variedades comerciales de frijol y un testigo con contenido alto de micronutrientes, MIB665 (98 ppm de hierro y 36 ppm de zinc). Aquellos genotipos con contenidos superiores al DOR390 y cercanos al MIB665 se consideran biofortificados, por ejemplo, la variedad Corpoica Rojo 39 (CIAT, 2010) (tabla 17).

Tabla 17. Comportamiento del contenido de minerales en semilla de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 frente al testigo local, a través de localidades del Caribe seco

Localidad	Variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39		Variedad local tipo caraota (testigo)	
	Hierro (ppm)	Zinc (ppm)	Hierro (unidades)	Zinc (unidades)
Pueblo Bello	94±12	40±2	38±8	24±4
Valledupar	79±9	38±3	42±10	32±5
La Paz	82±4	36±6	47±5	32±8
Manaure	90±10	35±7	40±12	22±7

Genotipo		Localidad				
Variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39	Mineral ppm	Pueblo Bello	Valledupar	La Paz	Manaure	
	Hierro	94 ± 12	79 ± 9	82 ± 4	90 ± 10	
	Zinc	40 ± 2	38 ± 3	36 ± 6	35 ± 7	
Variedad local tipo caraota (testigo)	Mineral	Pueblo Bello	Valledupar	La Paz	Manaure	
	Hierro	38 ± 8	42 ± 10	47 ± 5	40 ± 12	
	Zinc	24 ± 4	32 ± 5	32 ± 8	22 ± 7	

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del laboratorio de calidad nutricional del CIAT. Informe final PEA frijol biofortificado presentado por Corpoica ante el ICA

72

Calidad culinaria del grano de frijol

La variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 presentó menor tiempo de cocción (68 minutos), respecto a los 91 minutos del testigo, y obtención de caldos espesos, entre

otras características sensoriales de la semilla aceptadas de manera positiva frente al testigo local. Estas evaluaciones culinarias y sensoriales las realizaron panelistas (ingenieros de alimentos) que llevaron a cabo la prueba triangular categórica en la Universidad de Santander, sede Valledupar (Tofño-Rivera et al., 2011) (figura 15).



Fotos: Adriana Patricia Tofño Rivera

Figura 15. Evaluación participativa del tiempo de cocción de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39. a. Receta tradicional a base de frijol biofortificado; b. Tiempo de cocción evaluado con productores en vereda El Descanso, finca La Esmeralda, corregimiento María Angola, municipio de Valledupar; c. Pruebas sensoriales de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39, frente a los tipos de frijol consumidos en la región.

En el Caribe seco, el frijol se consume principalmente guisado, en sopa o “arroz de frijol” que es una mezcla de estos dos productos. De acuerdo con lo anterior, los productos incluidos en las preparaciones de frijol son auyama, papa, yuca, arroz y plátano (Tofiño, Melo, Ruidiaz, & Lissbrant, 2015). El tiempo de cocción promedio de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 es de 68 minutos. Este valor está dentro del rango referido en la especie, cuya fluctuación es bastante amplia porque se ha descrito un tiempo de cocción mínimo de 40 minutos y máximo de 133 minutos (De Dios Espinobarros, 2012).

El menor tiempo de cocción de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39, respecto al testigo local, no afecta la calidad de las recetas locales. Esto debido a que el tiempo de cocción promedio de los productos acompañantes del grano de frijol registrados en la gastronomía regional es menor al de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39. Por ejemplo, el tiempo de cocción de la auyama, el plátano y la papa es de 25 minutos en promedio (Cartay, 2005), mientras que el de yuca es de 20 minutos en variedades para consumo fresco (Aristizábal, Sánchez, & Mejía Lorio, 2007).



Recomendaciones técnicas para el manejo de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39

El desempeño agronómico de las variedades depende no solo del potencial genético de las plantas, sino también de su adaptación a la oferta bioclimática (ambiente) y de la interacción de la genética con él. En este último aspecto, en especial, el manejo del cultivo es fundamental para la expresión fenotípica reflejada en el rendimiento, la reacción a plagas, las enfermedades y el impacto de la agricultura en el ecosistema. En este sentido, es creciente la preocupación de la sociedad respecto al cuidado del continuo suelo-planta-atmósfera y la inocuidad de los productos. Las recomendaciones técnicas adecuadas permiten un mejor balance entre la productividad y el impacto ambiental de la producción agrícola.

Preparación de suelos

En el Caribe seco se registró, gracias a encuestas hechas a 250 productores distribuidos a lo largo de la Serranía del Perijá, que el 70 % está ubicado en terrenos quebrados con pendientes superiores al 30 %, donde se aplica la labranza mínima con remoción del suelo solamente en el sitio de siembra de la semilla, por lo general con el uso de la punta del machete o de un espeque (instrumento de madera en punta) (Corpoica, 2018b) (figura 16). La variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 se adapta bien a condiciones de mínima labranza en pendientes iguales o superiores al 15 %, con siembra a través de la pendiente. La adecuada preparación de suelo está relacionada con una menor presión de plagas y enfermedades presentes en el suelo. La disposición del lote incluye corte de arvenses a machete, uso de azadón para remoción de malezas perennes y surcado con azada, para dejarlo acondicionado y garantizar buena emergencia del cultivo. Para estas condiciones de mínima labranza se recomiendan lotes en descanso durante dos años (Tofiño-Rivera, Velásquez Agudelo, & Zapata Tamayo, 2016).



Fotos: Yanine Rozo Leguizamón
y Adriana Patricia Tofiño Rivera

Figura 16. Cultivo de frijol en pendiente superior al 40%. a. Cultivo de frijol en Serranía del Perijá, Vereda Nicaragua. Frijol rosado de la variedad local; b. Cultivo de frijol en la Sierra Nevada de Santa Marta, municipio Valledupar, corregimiento María Angola, vereda El Descanso. Frijol biofortificado Corpoica Rojo 39.

Para lotes planos, se recomienda utilizar un pase de arado de cincel y otro de rastrillo; asimismo, al menos una vez al año se debe incorporar gallinaza compostada o bovinasa

en trópico bajo al menos 2 t/ha o de acuerdo con el requerimiento, si se cuenta con análisis de suelos (Román Vélez & Arias Restrepo, 1995) (figura 17).



Fotos: Rafael de Oro y Yanine Roza Leguizamón

Figura 17. Preparación del terreno. a. Arado de cincel para la siembra de frijol en lotes del Caribe; b. Incorporación de enmiendas para la siembra.

Fotos: Rafael de Oro y Yanine Roza Leguizamón

76

Semilla

Se recomienda utilizar semilla certificada, previamente tratada con la mezcla de un fungicida y un insecticida (carboxin + captan, 155 a 250 g/100 kg de semilla, o clorpirifos etil, 150 g/100 kg de semilla), para disminuir pérdidas por enfermedades o el ataque de insectos plagas en los primeros estadios del cultivo; esto mantiene una densidad de población adecuada. En el caso de fincas certificadas en buenas prácticas agrícolas (BPA) o bajo producción orgánica, se recomienda como medida preventiva el uso de semilla certificada para garantizar la calidad sanitaria, es decir, con ausencia de contaminación por plagas y enfermedades; de igual forma, el uso de bioinsumos basados antagonistas como *Trichoderma*, *Bacillus*, *Beauveria*, entre otros. Lo anterior teniendo en cuenta el rango de

actividad de los microorganismos involucrados en el ingrediente activo y la prevalencia de plagas y enfermedades de la zona. También es importante revisar que los bioinsumos utilizados se hayan evaluado por el ICA en la zona agroecológica por aplicar. De este modo, se garantiza el alcance del control referido en la etiqueta del bioproducto, a partir de las dosis y del modo de aplicación indicado (Zambrano, Bonilla, Avellaneda, & Zambrano, 2015).

El procedimiento para el tratamiento de la semilla previo a la siembra consiste en disolver los fungicidas y el insecticida —químicos o biológicos— en las dosis recomendadas en un litro de agua; esparcir la semilla de frijol sobre una lona o plástico en el piso, y con la ayuda de una fumigadora de espalda realizar una aspersión de la mezcla sobre la semilla. Luego se da vuelta a la semilla con una pala

y se repite el procedimiento hasta alcanzar el cubrimiento total de la semilla por la mezcla de agroinsumos; por último, se deja secar bajo sombra (Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras [MDRyT], Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], & Ministerio de Medio Ambiente y Agua [MMAyA], s. f.).

La producción de semilla certificada incluye un proceso meticuloso de producción en campo, diferenciable de la producción de grano por productores bajo tecnología local, y es supervisada por el ICA. En este proceso se monitorean muy cercanamente las condiciones sanitarias del lote, se hace un control oportuno de plagas y enfermedades, se proporciona un plan de fertilización de acuerdo con el análisis de suelo del lote, un aporte hídrico teniendo en cuenta las exigencias de cada etapa de desarrollo de la planta y, en general, un manejo oportuno de las labores asociadas al cultivo. Lo anterior con el fin de garantizar

no solo el mayor rendimiento, sino también la mayor calidad fisiológica y sanitaria de la semilla, en correspondencia con la resolución ICA 3168 de 2015.

Adicional al manejo en campo, durante la cosecha las plantas no deben posarse sobre el suelo para evitar la contaminación de las vainas y semillas. De igual forma, el proceso de poscosecha requiere mayor cuidado, pues además del adecuado proceso de secado, en el cual se evita el exceso de humedad o el sobre-secado antes de la trilla (humedad ideal 14 %), se realiza un venteo y una selección de semilla en la que se desechan granos partidos, impurezas, granos de colores o tamaños diferentes (Tamayo, Aguilar, & Velásquez, 2013) (figura 18). Para la producción de semilla certificada, la asociación de productores o la entidad a cargo de la producción debe contar con registro ICA como productor de semilla, de acuerdo con los requisitos establecidos para cada categoría indicada en la Resolución ICA 3168.



Fotos: Yanine Roza Leguizamón, Rafael de Oro y Rodrigo Tofino Rivera

Figura 18. Proceso de poscosecha de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39, para la producción de semilla certificada. Centro de Investigación Motilonia, AGROSAVIA.
Fuente: Elaboración propia

Además de la calidad física, genética, sanitaria, fisiológica y del control de las familias o de la progenie, la uniformidad en las características de la semilla se considera en la poscosecha de la semilla certificada. Uno de esos rasgos es el color de la semilla. La uniformidad en el color de la semilla también constituye un indicador de calidad en el mercado; por tanto, la presencia de semillas con tonalidades diferentes al rojo y el rosado disminuye el precio de venta por kilogramo. La variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 puede presentar hasta un 17% de semilla decolorada cuando la cosecha coincide con eventos de variabilidad climática (Corpoica, 2017a).

Sistema de siembra

En la región del Caribe seco se identifican diferentes esquemas en la siembra de frijol, por ejemplo, monocultivo en surco doble (figura 19), monocultivo en surco simple (figura 20) y sistema asociado con cultivos transitorios (figura 21). Sin embargo, en la región predomina aún en pequeñas áreas, que van de 0,5 a 2 ha, el sistema en monocultivo. La densidad en sistema de cultivo asociado con maíz es de 28.500 plantas/ha, con distancia entre surcos de 100 cm y entre plantas, de 35 cm. Así, el frijol se puede establecer con todos aquellos cultivos que no generen competencia por luz, en especial con yuca y maíz, y lo registrado es la siembra simultánea (Corpoica, 2018b).

78

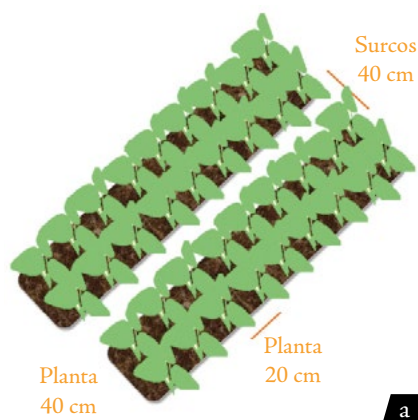


Foto: Rafael de Oro

Figura 19. Esquema de siembra doble planta por surco. a. Representación gráfica; b. Cultivo de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39, Concentración de Desarrollo Rural (CDR), 2017.



Foto: Yanine Rozo Leguizamón

Figura 20. Esquema de siembra de planta por surco. a. Representación gráfica; b. Cultivo de frijol rosado variedad local, Manaure, Balcón del Cesar, Vereda La Tomita, 2017.



Foto: Yanine Rozo Leguizamón

Figura 21. Esquema de siembra asociada con maíz y surco sencillo de frijol. a. Representación gráfica; b. Cultivo de frijol rosado, variedad local y maíz blanco, variedad local, Río de Oro Cesar, 2018.

Debido a que el monocultivo es el sistema de siembra predominante en la región del Caribe seco y al hábito tipo arbustivo de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39, se recomienda la siembra en monocultivo bajo una densidad de 100.000 plantas/ha con distancia de siembra entre surcos de 40 cm y entre plantas de 20 cm. Esta distancia de siembra favorece el cierre del dosel, con lo que se evita la proliferación de arvenses sobre el surco.

Época de siembra

La variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 es tolerante al déficit hídrico y gracias a esto se puede sembrar en los dos semestres del año (abril-octubre), meses de siembra cuando se concentra el mayor porcentaje de área sembrada en la región (figura 22). El cultivo de frijol común en la región del Caribe es altamente susceptible a la variabilidad y al cambio

climático; en consecuencia, se ha registrado una alta tendencia entre los productores a sembrar durante el último trimestre del año, época cuando se presenta la mayor pluviosidad. Esto

contribuye a concentrar la producción regional, principalmente en enero, seguido de diciembre y febrero y, en menor medida, de junio y julio (Ruiz Cabarcas & Pabón Caicedo, 2013).

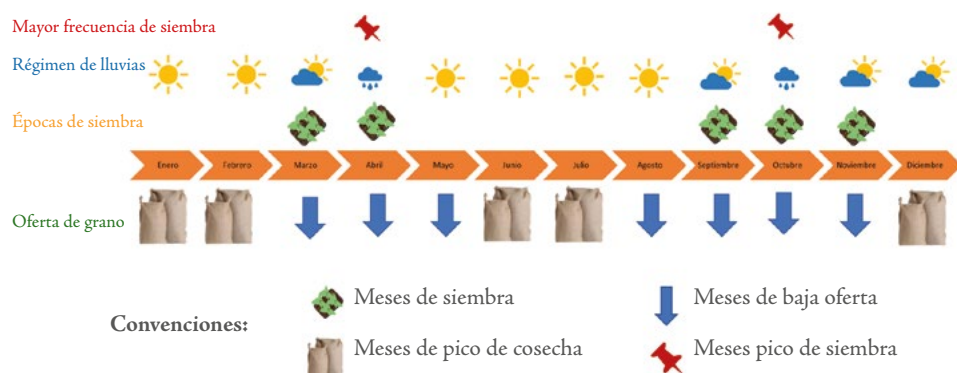


Figura 22. Calendario del cultivo de frijol en el Caribe seco.

Fuente: Elaboración propia

Riego

De modo similar a lo referido en evaluaciones de variabilidad en germoplasma de frijol común, la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 requiere, desde la siembra hasta el final del llenado de vainas, una lámina efectiva de agua de 400 mm. En especial, en el frijol común puede evidenciarse disminución en el rendimiento, cuando no se alcanza un aporte hídrico de 340 mm desde la siembra hasta el inicio del llenado de vainas (Barrios-Gómez et al., 2011). Sin embargo, la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 produjo, por encima del promedio regional y rendimiento similar al nacional bajo, un suministro hídrico de 138 mm en La Paz y 281 mm en Valledupar, con 934 kg ha⁻¹ y 1034 kg ha⁻¹, respectivamente.

En el Caribe seco, la mayor proporción de productores carecen de sistemas de riego y

manejan el cultivo solo con la precipitación; además, ajustan la programación de siembras de acuerdo con los ciclos de lluvia. Solo un porcentaje cercano al 30 % utiliza riego suplementario, principalmente por aspersión, y en muy baja proporción se usa el sistema por goteo. Este último, cuando el frijol se rota con cultivos transitorios como melón y cilantro (Corpoica, 2018b) (figura 23). El frijol convencional en la costa Caribe requiere 500 mm de agua (Movilla, Gonzalez, & Marulanda, 1986). La época regional de siembra se presenta en abril y octubre, meses en los que hay mayor pluviosidad anual y, por tanto, la necesidad de riego es menor. El registro de precipitación se puede llevar con un pluviómetro ubicado en el lote y también se recomienda contar con un termómetro o termo higrómetro para conocer las variaciones de precipitación o temperatura en el lote (figura 24).



Foros: Yanine Roza Leguizamón

Figura 23. Sistemas de riego. a. Riego por aspersión en Río de Oro, Cesar; b. Riego por goteo en González, Cesar.

Se ha registrado que la decisión de aplicación de riego se puede tomar de acuerdo con el registro de lluvias, la temperatura y la humedad del suelo. Es posible estimar esta última de forma cualitativa y sensorial con la “prueba del puño”, que consiste en tomar un puñado de tierra y exprimirlo, y si salen gotas de agua tiene una humedad promedio de 80 %. Este método es apropiado cuando no se tiene acceso a pruebas especializadas (Tofiño-Rivera, 2016b). En frijol arbustivo el uso de aspersores o cañones puede ocasionar pérdida de plantas, por lo que se recomienda la microaspersión o el goteo (Corpoica, 2018b).

Fertilización

La variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 presenta mayor productividad que las variedades tradicionales en suelos de baja fertilidad, ya que utiliza la tecnología local de producción (sin adición de fertilización química y en lotes en descanso por más de un año) (figura 25). No obstante, responde bien a la fertilización química y biológica, por lo cual se recomienda analizar los suelos y, de acuerdo con el requerimiento, fraccionar la fertilización a la siembra y durante el aporque antes del inicio de la floración; asimismo, la aplicación de al menos dos fertilizaciones foliares con compuestos enriquecidos con micronutrientes, una semana antes de la floración y una semana después (Fenalce, 2010; Ríos Batancour et al., 2003).

81



Foros: Griselda Gómez

Figura 24. Elementos *in situ* de medición de lluvias y temperatura. a. Pluviómetro; b. Ermómetro.



Foto: Gustavo Rueda

Figura 25. Aplicación de fertilizante al voleo en Cesar, 2018.

82

En caso de no contar con análisis de suelo, para evitar la pérdida de fertilidad edáfica se sugiere aplicar, después de cada cosecha, lo que extrae el cultivo de frijol: 35 kg de nitrógeno, 4 kg de fósforo, 15 kg de potasio, 3 kg de magnesio y 5 kg de azufre por tonelada de grano/ha producido. Adicionalmente, para la subregión del Caribe seco, en suelos franco-arcillosos y francos, los cuales son propios de la Serranía del Perijá y tienen pH neutro y contenido moderado de materia orgánica, además de ser altos en fósforo, calcio y saturación de bases (100%), es muy importante adicionar 2 t/ha¹ de lombricompost para mantener la aireación, disminuir la tasa de mineralización de materia orgánica y maximizar la actividad biológica edáfica.

Un plan de fertilización base adecuado para mantener la fertilidad del suelo y suplir los requerimientos del frijol en la subregión del

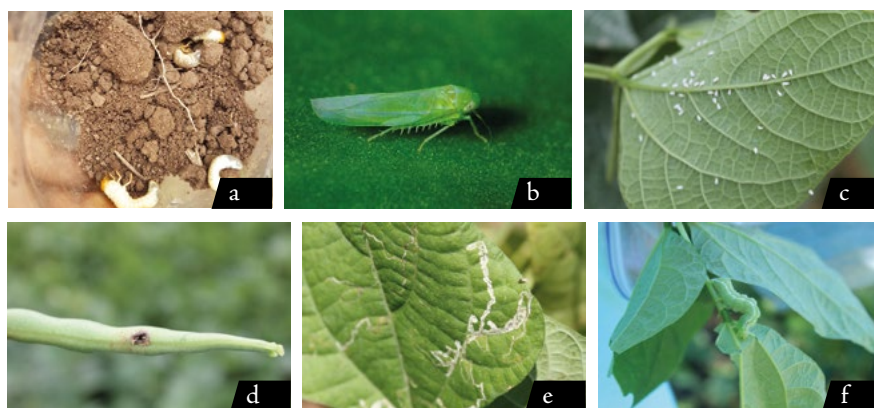
Caribe seco podría fundamentarse en la aplicación de sulfato de amonio (100 kg/ha¹), fosfato diamónico (DAP) (50 kg/ha¹), cloruro de potasio (KCl) (100 kg/ha¹) y fertilizante con macro y micronutrientes (nitrógeno total (N) 8,0%, nitrógeno amoniacal (N) 1%, nitrógeno ureico (N) 7%, fósforo asimilable (P₂O₅) 5,0%, calcio (CaO) 18,0%, (MgO) 6,0%, azufre (S) 1,6%, boro (B) 1,0%, cobre (Cu) 0,14%, molibdeno (Mo) 0,005%, zinc (Zn) 2,5% (25 kg/ha) (Fenalce, 2010).

Manejo de plagas

En suelos planos a ondulados se recomienda la mecanización para evitar la alta presión de plagas del suelo como mojoy (Phyllophaga obsoleta), babosas (Limax maximus), vaquitas (Diabrotica spp.) y grillos (Grillus assimilis), con un arado profundo, sobre todo en suelos pesados o muy pedregosos, y un monitoreo

semanal de los lotes para detectar la llegada de las plagas y así utilizar dosis moderadas de insecticidas de baja toxicidad y residualidad, en asocio con el uso de productos biológicos basados en microorganismos benéficos como *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*,

que se deben aplicar al menos con una semana de diferencia respecto al control químico con insecticidas (Melo, Ariza, Lissbrant, & Tofiño, 2015; Tamayo & Londoño, 2001). Las principales plagas identificadas en el Caribe seco se presentan en la figura 26.



Fotos: Banco de imágenes de Corpoica, Yanine Rozo Leguizamón y Griselda Gómez

Figura 26. Principales plagas que afectan el cultivo de frijol en el Caribe seco. a. Chiza o mojojoy *Phyllophaga obsoleta* Blanchard; b. Lorito verde *Empoasca kraemeri*, Ross y Moore; c. Mosca blanca *Bemisia tabaci*, Gennadius; d. Barrenador de la vaina *Heliothis* spp.; e. *Liriomyza sativae*, Blanchard; f. Falso medidor *Trichoplusia* sp., *Omiodes indicata*, Fabricius.

En estado de plántula (semilla en germinación hasta 15 días después de esta), las principales plagas registradas que afectaron en las localidades donde se evaluó la prueba semicomercial de variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 (Manaure y Pueblo Bello) fueron el mojojoy, las vaquitas y las babosas.

El daño causado por babosas se observa inicialmente en los bordes del cultivo, donde consumen las hojas de las plantas incluyendo o no las nervaduras, dependiendo de su estado de crecimiento (juvenil o adulto). Incluso, en algunos casos pueden consumir las plántulas completas, y la presencia de residuos en el lote facilita su establecimiento como plaga importante (Arias Restrepo, Rengifo Martínez,

& Jaramillo Carmona, 2007). En cuanto al mojojoy, en su estado larval ataca el sistema radical de la planta y cuando la densidad poblacional es alta (5-6 larvas/m²) puede causar su muerte; así, se ven plantas volcadas en el lote por pérdida sustancial de anclaje proporcionado por las raíces. Los cortes radicales ocasionados, a su vez, permiten el ingreso de hongos patógenos que también afectan la producción (Tamayo & Londoño, 2001).

De igual forma, las larvas de las vaquitas pueden afectar las raíces del frijol y su presencia en etapas tempranas del cultivo incrementa su impacto sobre el rendimiento. En el área foliar el daño se observa como hoyos de diversos diámetros en la zona interna de la

lámina. En etapa de desarrollo vegetativo, es decir, desde la primera hoja trifoliada formada y hasta la floración (15-35 días después de la siembra), en norte del Cesar pudo verse mosca blanca (*Bemisia tabaci*), falso medidor (*Trichoplusia* sp.), vaquitas (*Diabrotica* spp.), minador (*Liriomyza sativae*) y lorito verde (*Empoasca kraemeri*). La mosca blanca y el lorito verde son chupadores, por lo cual es posible confundir el daño ocasionado con deficiencias nutricionales; además, pueden actuar como vectores de virus. Por tanto, las acciones de control en frijol frente a estas plagas tienen que ser preventivas y una vez en el lote es importante vigilarlas de manera efectiva con insecticidas específicos y acordes al ciclo de vida de la plaga detectada en campo. Es importante entonces contar con asistencia técnica y así evitar el uso indiscriminado de agroinsumos, que afectan la biodiversidad de la entomofauna benéfica en general.

Respecto a los masticadores, el falso medidor y las vaquitas, estos ocasionan cortes irregulares de diferentes tamaños en la lámina foliar, mientras que los minadores son conocidos como masticadores internos porque su daño corresponde a galerías realizadas en el mesófilo foliar que se aprecian como dibujos sobre las hojas (figura 26). En la etapa de llenado y maduración de las vainas del frijol se presentaron plagas como falso medidor y barrenador de la vaina (*Heliothis* spp.) (figura 26). Este último en su estado larval perfora las vainas, afecta yemas terminales y ocasiona aborto floral (Ríos Betancour & Quirós Dávila, 2002). Como estrategia de control biológico se recomienda aplicar al suelo y a la planta entomopatógenos como *Beauveria bassiana* y *Metharhizium anisopliae* y para el control de lepidópteros o

mariposas en particular, aspersiones de *Bacillus thuringiensis* (Ávila, 2015).

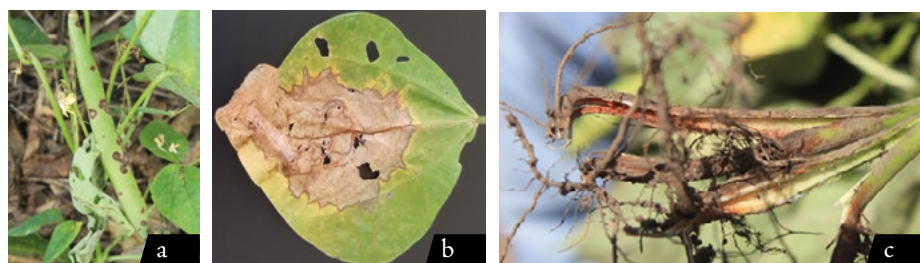
Por otro lado, respecto a los predios que aplican BPA y agricultura orgánica, se recomienda el control con aspersiones de *Beauveria bassiana* y la promoción de la presencia de controladores biológicos identificados en los lotes de frijol biofortificado en el norte del Cesar, como icneumonídeos (*Ichneumonidae*) y especies de *Chrysoperla* y sírfidos (*Syrphidae*). Dado que no se cuenta con protocolos de cría o producción en cautiverio para la zona, se sugiere dejar en las inmediaciones del lote guadua descompuesta y sembrar como barrera especies aromáticas de flores olorosas como albahaca blanca, pron-toalivio, manzanilla, entre otras.

En general, en la subregión se reporta el daño por mosca blanca que puede presentarse en todos los estados fenológicos del cultivo; por esta razón, se considera como estrategia preventiva frente a la mosca blanca el uso de barreras con sorgo forrajero y maíz. El establecimiento de las barreras de estas gramíneas debe ser previo a la siembra de frijol, al menos 40 días, y con una densidad de siembra a 1 cm o “chorrillo”. En el Caribe seco, el sorgo ha mostrado mayor efectividad gracias a su rápida producción de biomasa y su bajo requerimiento hídrico. Es de gran importancia también el uso de trampas amarillas, ubicadas en la periferia y el centro del lote, como medida de detección de la llegada del insecto y el control de malezas en la periferia del lote. Estas últimas son reconocidas como hospederos secundarios de plagas en frijol (Instituto Nacional de Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria [IICA], 2009; Tamayo & Londoño, 2001).

Manejo de enfermedades

En el Caribe seco son poco usuales las enfermedades foliares, excepto en temporadas de elevada precipitación, cuando se producen daños sin importancia económica para la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39. El principal problema sanitario identificado en la zona son las enfermedades del suelo que afectan la raíz y la base del tallo (Melo et al., 2015), para lo cual se recomienda la adición de materia orgánica, preferiblemente lombriabono 2 t/ha y la inoculación de la semilla con el microorganismo benéfico *Trichoderma harzianum*, que se encuentra

en diferentes presentaciones comerciales. En temporada lluviosa (600-700 mm) se aconseja la aplicación de 500 cc/ha de azoxystrobin + difenoconazol, que tienen acción preventiva, curativa, erradicante y antiesporulante. Las enfermedades detectadas en el Caribe seco son antracnosis (*Colletotrichum lindemuthianum*), mustia hilachosa (hielo, telaraña, requema), (*Thanatephorus cucumeris*) y pudriciones radicales por *Pythium* (patera) (figura 27). La variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 tiene una reacción moderada frente a estas enfermedades, pero se recomienda controlar los focos y retirar las plantas enfermas del lote (Tamayo & Londoño, 2001).



Fotos: Yanine Roza Leguizamón

Figura 27. Principales enfermedades del cultivo de frijol en el Caribe seco. a. Antracnosis *Colletotrichum lindemuthianum*; b. Mustia hilachosa *Thanatephorus cucumeris* (Frank); c. Pudriciones radicales *Rhizoctonia solani*, *Sclerotium rolfsii*, *Macrophomina phaseolina* y *Fusarium solani*.

En el caso de lotes registrados ante el ICA en BPA y producción orgánica, se recomiendan acciones preventivas frente a las enfermedades más limitantes descritas en el aparte anterior, como sembrar bajo el sistema de mínima labranza, en rotación con gramíneas, cuyos residuos de cosecha se utilizan como cobertura entre las hileras de frijol; esto ayuda a reducir la incidencia de patógenos del suelo y la diseminación del inóculo por el salpicado de la lluvia o el riego desde el suelo a la parte inferior de las plantas. Además, usar de semilla libre de patógenos —preferiblemente

certificada—, determinar las fechas óptimas para la siembra, evitar las altas densidades por hectárea (mayor a 180.000 pl/ha) para facilitar la aireación y evitar el autosombreamiento, eliminar los residuos de la cosecha anterior de frijol, incluir en la rotación con cultivos no hospederos como sorgo, pastos, cilantro y utilizar variedades de porte erecto o de guía corta. Se igual forma, sirve aplicar a la siembra lombricompost con adición de micorrizas y *Trichoderma*. La aspersión con *Trichoderma* se aplicará de modo preventivo al inicio de las lluvias y en drench con bomba de espalda. Es

importante tener en cuenta que los bioinsumos se aplican como mínimo 20 días después del uso de agroquímicos. El monitoreo oportuno de focos de enfermedades y la erradicación del lote de plantas enfermas permiten el control de hongos con agroinsumos de bajo impacto ambiental, como el caldo bordelés, pues en el Caribe seco son inusuales las afectaciones bacterianas del cultivo (Melo et al., 2015).

Manejo de arvenses

De acuerdo con investigaciones adelantadas por AGROSAVIA con productores de frijol en el Caribe seco, 75 % del grupo encuestado utiliza control químico de arvenses, en especial después de la preparación del terreno y antes de la siembra (AGROSAVIA, 2018). La erradicación química de malezas o arvenses está relacionada con las propiedades físicas del suelo, pues dependiendo del incremento del componente arcilloso en su textura deberá aumentarse la dosis de herbicidas de uso generalizado en la subregión, por ejemplo, el glifosato. Los suelos de la Serranía del Perijá y la Sierra Nevada de Santa Marta no son livianos, por lo cual se requieren dosis medias a altas de herbicidas. En zonas de ladera donde se siembra el frijol, es aconsejable el control químico en posemergencia y la siembra en labranza cero. Además, el uso de cultivares precoces como la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39, en densidades de 180.000 pl/ha, acelera el cierre del dosel y disminuye el desarrollo de las malezas. Sin embargo, hay que tener en cuenta que un control inadecuado de arvenses durante la fase vegetativa del frijol puede afectar el rendimiento hasta en un 30 % (Palacios Morales & Urriola Urriola, 2013).

En la región es usual la aplicación de glifosato para el control de arvenses en posemergencia, antes de la siembra de frijol; no obstante, este producto deprime los microorganismos del suelo y puede ocasionar toxicidad en las plántulas de frijol (Melo et al., 2015). Por esto, se recomienda el uso de productos específicos al cultivo de frijol con menor toxicidad y residualidad.

Para el adecuado control de arvenses (verdolaga *Portulaca oleracea*, bledo *Amaranthus dubius*, escobilla *Diadesma rhombifolia* L., coquito *Cyperus rotundus*) (figura 28), especialmente en zonas de alta presión como el Caribe seco, se recomienda preparar el suelo con al menos 25 días de antelación a la fecha programada de siembra, para ejecutar un adecuado control posemergente previo a la siembra y premergente posterior a la siembra. Después de la preparación del lote se aplica un riego para que emerjan las malezas y se hace un control químico en posemergencia antes del inicio del semillado (para esto se recomienda utilizar Fluazifop-P-Butil [$1,5 \text{ L ha}^{-1}$]). Posterior a la siembra o al día siguiente, se puede aplicar pendimetalina ($2,5 \text{ a } 3,0 \text{ L ha}^{-1}$). En el control de malezas, durante el desarrollo del cultivo, es posible usar la mezcla Fluazifop-P-Butil + fomesafen ($0,125 + 0,25 \text{ kg i.a ha}^{-1}$), que es efectiva en lotes con presencia moderada de arvenses de hoja ancha y angosta. Bajo mayor presión, se emplea fomesafen (1 L ha^{-1}) + vernolato ($5,0 \text{ kg de i.a. ha}^{-1}$); no obstante, en el plateo de la planta se utiliza la desyerba manual o con machete para evitar daños a la planta y en la calle, y fumigación con pantalla (IICA, 2009) (figura 29).



Fotos: Griselda Gómez

Figura 28. Principales malezas en el cultivo de frijol en el Caribe seco. a. Salvia (*Salvia officinalis* L.); b. Pata de gallina (*Digitaria sanguinalis*); c. Verdolaga (*Portulaca oleracea*); d. Bledo (*Amaranthus dubius*); e. Escobilla (*Diadema rhombifolia* L.); f. Coquito (*Cyperus rotundus*).



Fotos: Griselda Gómez y Yanine Rozo Leguizamón

Figura 29. Métodos de control de arvenses utilizados en el Caribe seco. a. Control manual; b. Control químico.

Manejo de la cosecha

El Caribe seco es una subregión afectada por la variabilidad climática, lo cual se refleja en la fecha de inicio, duración e intensidad de los ciclos de lluvia (Ruiz Cabarcas & Pabón Caicedo, 2013). Por tanto, a pesar de que se conservan las épocas de siembra, no siempre la época seca coincide con la cosecha del frijol (Corpoica, 2018b). La cosecha se lleva a cabo después de que el grano alcanza la madurez fisiológica, momento que se evidencia por el

cambio en el color y la consistencia de la vaina, que se hace menos carnosa y más quebradiza, y la defoliación natural de la planta. Al alcance de la madurez fisiológica la semilla puede contar con una humedad del 30%, pero la cosecha se realiza cuando la planta está completamente defoliada; en este momento la semilla cuenta con un 20% de humedad. Durante el proceso de poscosecha, se hace un secado bajo sombra, lento y gradual hasta que la semilla alcance un contenido estable del 12% de humedad (Cabañas Echevarría, 2014).

En caso de cosecha manual, se recomienda arrancar la planta completa. Las plantas se dejan en el campo hasta lograr un secado natural y uniforme, y así evitar que las vainas sequen demasiado y el desgrane espontáneo (dehiscencia) o la germinación en la vaina. Para prevenir que el rocío de la madrugada o las lluvias nocturnas rehumedezcan las vainas, se recomienda acarrear la semilla del lote, acumularla en un solo punto y tapar con plástico o lona (figura 30). En caso de que el periodo de cosecha coincida con las lluvias, es usual que los productores cuelguen las plantas en las ramadas hasta alcanzar el nivel de humedad apropiado para la trilla (14%) y de esta manera

impedir la germinación de las semillas dentro de la vaina y el manchado del grano. Por otro lado, Corpoica (2011) registró en la zona el uso exitoso de los secadores solares parabólicos establecidos para el beneficio del grano de café, en el secado de vainas de frijol en un año afectado por el fenómeno de La Niña. De este modo, disminuyen las pérdidas registrados en frijol a causa del exceso de humedad. Gracias al uso de un secador solar parabólico instalado en la finca La Esmeralda, en el segundo semestre de 2010, durante La Niña, se produjo la semilla de nueve variedades de frijol para el desarrollo de las PEA ante el ICA en cuatro localidades (figura 31).



Fotos: Yanine Roza Leguizamón

Figura 30. Cosecha de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39. a. Planta madura secando en lote; b. Acarreo de plantas secas; c. Acopio de plantas secas para desgranado.

Análisis económico de la producción de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39

La producción de frijol se encuentra en manos de pequeños productores, eslabón importante para la región Caribe. De acuerdo con talleres de análisis de costo con productores, desarrollados por AGROSAVIA en el norte del Cesar, se encontró que el costo de producción por kg de frijol es de \$2.700 pesos (AGROSAVIA, 2018a).

Para el análisis de costos de producción se hizo un comparativo entre el frijol común tradicionalmente sembrado en la región y la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39. Estos análisis de costos de producción presentan un punto de equilibrio similar: para frijol común a un precio promedio de venta de \$3.400, el productor debe producir como mínimo 870 k para recuperar la inversión, mientras que para la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 es de 900 k (tabla 18).

Ambos sistemas se determinaron a todo costo sin tener en cuenta el costo de oportunidad

de la mano de obra familiar, que sugiere un sueldo o ganancia implícita en el costo del jornal. Si bien la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 tiene costos de producción un poco más elevados, su rentabilidad es mayor gracias al rendimiento, ya que mientras el frijol común en promedio produce 800 k/ha, la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 en promedio en el Caribe seco produce 1,2 t/ha¹, y en zonas de producción con acceso al riego puede ser hasta de 3 t/ha¹.

Estos indicadores pueden variar porque están proyectados a una sola cosecha anual debido a la incertidumbre de las lluvias en el primer semestre. Sin embargo, dada la tolerancia de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 al estrés hídrico, se podrán incrementar los ingresos del productor al ofrecer la posibilidad de obtener dos cosechas. No obstante, en los mercados locales se consiguen a un menor precio los frijoles medianos, por eso es recomendable su comercio en mercados que valoren su contenido nutricional, como el mercado nutracéutico, las tiendas naturistas y los programas gubernamentales de seguridad alimentaria (tabla 18).

Tabla 18. Análisis económico de la producción de frijol, 2017

Costos directos	Convencional*		Biofortificado*	
Labores		\$1.939.500		\$1.896.000
Insumos		\$499.000		\$529.001
Herramientas		\$219.375		\$341.250
Subtotal costos directos		\$2.657.875		\$2.766.251
Costos indirectos		\$286.051		\$293.638

(Continúa)

(Continuación tabla 18)

Costos directos	Convencional*	Biofortificado*
Costos totales	\$2.943.926	\$3.059.889
Rendimiento (t)	0,80	1,2
Precio de t	\$3.400.000	\$3.400.000
Costo unitario	\$3.679.908	\$2.549.907
Ingreso bruto	\$2.720.000	\$4.080.000
Ingreso neto	-\$223.926	\$1.020.111
Rentabilidad	-7,61	33,34
Punto de equilibrio	0,87	0,90
Porcentaje punto equilibrio	108,23	75

* Valores en pesos colombianos
Fuente: Corpoica (2018a)





Uso de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 en la alimentación

Para alcanzar un buen estado nutricional, el ser humano tiene requerimientos de consumo diario de los diferentes grupos alimenticios, como carbohidratos, proteínas, vitaminas, grasas y micronutrientes. La ingesta diaria mínima de hierro varía según la edad y el género (ICBF, 2015c). En este sentido, los niños de 4 a 8 años requieren 10 mg/día; los hombres de 19 a 50 años, 8 mg/día; las mujeres de 19 a 50 años, 18 mg/día, y las embarazadas, 27 mg/día. De acuerdo con lo anterior, la ingesta diaria recomendada en un hombre adulto podría suplirse exclusivamente con el consumo de 90 g diarios de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39, teniendo en cuenta el siguiente cálculo:

$$87 \text{ ppm} = 87 \frac{\text{mg}}{1000\text{g}} \text{ si la IDR} = \frac{8\text{mg}}{\text{día}} \text{ entonces } 1000\text{g} \times 8 \frac{\text{mg}}{87\text{mg}} = 91\text{g}$$

Una taza de frijol puede ser la ración promedio en un tiempo de comida; para alcanzar la ingesta se requiere que la taza lleve 1,5 cucharones, pues cada cucharón tiene una medida promedio de 60 g en una frecuencia de dos raciones semanales (ICBF, 2015b) (tabla 19).

Aunque el grano de frijol común contiene proteína, no es un sustituto total de la proteína animal, ya que carece de los aminoácidos esenciales: metionina y triptófano; por eso se recomienda acompañar la receta de frijol con productos de proteína animal como huevo, queso, entre otros. La semilla contiene, además, vitaminas del complejo B (niacina, riboflavina, ácido fólico, tiamina y piridoxina) y minerales (hierro, zinc, potasio, magnesio, fósforo, cobre y manganeso). También es una excelente fuente de fibra dietética (soluble e insoluble) y de carbohidratos complejos (almidón) (Cruz-Bravo, Guzmán-Maldonado, Herrera, Cid, Ríos, & Juárez García, 2015) (tabla 19).

En general, la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 tiene una composición físico-química similar a la reportada para el frijol rojo (calcio 100, Fe 4,8 y Zn 0,94) en la tabla composicional de alimentos colombianos del ICBF, pero se resalta el mayor contenido del biofortificado en calcio, hierro y zinc (ICBF, 2015b) (tabla 19).

Tabla 19. Resultados de análisis físico-químico del grano de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39

Parámetro	Fecha de resultado	Método	Resultado	Unidades
Humedad	16-03-2019	AOAC 925,10	9,94	%
Grasa total	16-03-2019	AOAC 960,39	1,28	%
Proteína	16-03-2019	AOAC 920,87	20,8	%
Carbohidratos	16-03-2019	AOAC 986,25	63,4	%
Fibra cruda	18-03-2019	AOAC 950,37- AOAC 962,09	8,36	%
Fibra dietaria	20-03-2019	AOAC 985.29	25,69	%
Azúcares totales	16-03-2019	AOAC 923.09	1,5	%
Hierro	18-03-2019	AOAC 938,35	5,25	mg/100g
Calcio	21-03-2019	AOAC 938,35	112,2	mg/100g
Magnesio	21-03-2019	AOAC 938,35	145,30	mg/100g
Zinc	21-03-2019	AOAC 938,35	1,06	mg/100g
Cadmio	21-03-2019	AOAC 938,35	< 0,30	mg/100g
Níquel	21-03-2019	AOAC 938,35	0,14	mg/100g
Mercurio	21-03-2019	Generador de hidruros	< 0,010	mg/100g
Arsénico	21-03-2019	Generador de hidruros	< 0,020	mg/100g
Ceniza	16-03-2019	AOAC 923,03	4,59	%

Fuente: Elaboración propia

En el Caribe seco se realizaron pruebas que respaldan la calidad culinaria de la variedad. En esta última se incluyen las variables tiempo de cocción, absorción de agua y pruebas sensoriales. Con respecto al tiempo de cocción, las variedades biofortificadas de AGROSAVIA (Corpoica Rojo 39 y 43) lograron diferenciarse estadísticamente del testigo regional, al presentar tiempos menores de cocción con respecto a los 90,5 minutos que este presentó. El mejor de los biofortificados, Corpoica Rojo 39, tardó 58 minutos en ablandarse de manera homogénea, seguido del Corpoica Rojo 43. Una tendencia similar se observó en el índice

de absorción de agua, pues el testigo solo absorbió 10 mL, mientras que el mejor biofortificado, Corpoica Rojo 43, absorbió 60 mL; esto, sin diferenciarse significativamente de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39. Respecto al testigo comercial negro tacaná, en ambas variables superó la calidad del testigo local, pero no igualó la calidad que presentaron las variedades biofortificadas de AGROSAVIA (tabla 20). En evaluaciones de germoplasma de frijol se observó una amplia variación en la calidad culinaria, siendo mayor en genotipos con bajo tiempo de cocción y alta capacidad de absorción de agua. La variación en 112

variedades tradicionales de frijol en México con respecto a la capacidad de absorción de agua fluctuó entre 16,08 y 127,6 %, con un promedio igual a 97,52 %. El tiempo de cocción estuvo en el rango de 40 a 133 minutos (De Dios Espinobarros, 2012).

Tabla 20. Comparación de medias de tiempos de cocción entre cultivares de frijol

Genotipo	Tiempo cocción	Índice absorción agua
Corpoica Rojo 43	66 (e)	60 (a)
Corpoica Rojo 39	58 (f)	61 (a)
Negro tacaná-comercial	80 (bcd)	39 (b)
Testigo	90 (a)	10 (d)
Promedio	77,08125	30,11250
DMS	4,8165	9,4487

Nota : () indica el lugar ocupado por el genotipo. Medias con la misma letra en sentido vertical son estadísticamente iguales con $p \leq 0,05$ (Tukey). DMS = diferencia mínima significativa.
Fuente: elaboración propia

Las pruebas sensoriales con la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 se realizaron con diferentes niveles de complejidad, desde los más simples aplicados a 90 niños en Valledupar, con solo dos alternativas (me gusta, no me gusta), hasta otro un poco más complejo aplicado a 178 adultos; en esta prueba que aceptó la variedad de frijol biofortificado

Corpoica Rojo 39 por su mejor sabor, textura y consistencia (tabla 21). Por último, se llevó a cabo una prueba más compleja con 25 ingenieros de alimentos, que aplicaron una caracterización descriptiva de aceptabilidad entre biofortificados que incluyeron la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 y el testigo en prueba triangular (tabla 21).

Tabla 21. Pruebas hedónicas con adultos consumidores de frijol en el Caribe seco

Criterio de caracterización descriptivas de aceptabilidad						
Características	Frijol negro tradicional (%)	Frijol negro biofortificado (%)	Frijol rayado biofortificado (%)	Frijol crema biofortificado (%)	Frijol rojo biofortificado (%)	Valor P según chi-cuadrado
Consistencia del caldo						0,043*
Espesa	32	20	28	21	20	

(Continúa)

(Continuación tabla 21)

Características	Frijol negro tradicional (%)	Frijol negro biofortificado (%)	Frijol rayado biofortificado (%)	Frijol crema biofortificado (%)	Frijol rojo biofortificado (%)	Valor P según chi-cuadrado
Aguda	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						0,470
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
Cascaduro	20	10	25	22	15	
Duro	15	10	5	6	25	
Blando	65	80	70	72	60	
Criterios de discriminación triangular						
Evaluadores	Muestras					
	A	B	C	Valor p según chi-cuadrado		
				0,003		
Panelistas	12	18	70			

Fuente: Elaboración propia

También se llevó a cabo una evaluación de eficiencia nutricional de la variedad biofortificada en Valledupar y se encontró en una muestra de 100 niños a los que se les aplicaron pruebas de sangre, peso y talla, antes y después de consumir la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39, que el consumo de tres raciones semanales de 90g de grano del biofortificado durante tres meses afectó de manera positiva algunas variables de hierro en sangre (la hemoglobina, la transferrina) y el índice de masa corporal (peso, talla) (Tofiño-Rivera et al., 2011) (tabla 22). Los 100 niños fueron

valorados y desparasitados antes de la prueba; luego, se aleatorizó su inclusión en el grupo control con ingesta normal de la alimentación escolar y el grupo consumidor del biofortificado. Los niños y sus familias no sabían si estaban en el grupo control o en el de consumo de biofortificados. De igual forma, se verificó el consumo total de la ración en ambos grupos. Al final de la intervención, se valoraron los 100 niños nuevamente en cuanto a talla e indicadores de Fe en sangre. En el análisis estadístico se evaluaron las diferencias entre grupos antes y después de la intervención (tabla 22).

Tabla 22. Análisis estadístico de los resultados de la ingesta regular de frijol biofortificado por niños en Valledupar

Grupo	Descripción	Hb	Hto	Vcm	Gb	Neu	Plaq	Linf	Mon	Eos	Bas	Hierro	Tranfer	Ferritina
1	Estudio antes	13,2	39,5	79,8	9,8b	47,3	360,1	36,6	4,4	7,4	0,42a	86,3c	276,6bc	39,0
2	Estudio después	12,9	37,0	80,2	8,1ab	48,5	368,3	33,3	4,4	5,8	0,76b	61,3a	251,3a	56,1b*
3	Control Antes	12,8	38,9	81,9	8,8ab	51,3	384,4	35,0	4,3	6,5	0,35a	79,6bc	290,9c	36,0
4	Control después	12,9	37,7	89,1	7,2a	46,6	385,8	44,0	4,1	6,5	0,79b	67,6ab	257,2b	40,4
P	Intragrupos	0,77	0,07	0,36	0,17	0,19	0,44	0,34	0,73	0,32	0,76-0,96	0,68-0,15-0,64	0,86-0,25	0,797-1
P	De 2 y testigo	0,770	0,070	0,360	0,170	0,190	0,440	0,340	0,730	0,320	0,000 (1 y 3)*	0,000 (1 y 3)*	0,580	0,000

Nota: los valores de p resaltados con asterisco indican diferencia significativa entre el grupo alimentado con frijol biofortificado (2) y los demás grupos (1, 3 y 4) o solo con 1 y 3.

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se realizaron pruebas agroindustriales de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 en elaboración de galletas, a partir de una mezcla diluida de harina de trigo con harinas de frijol y yuca (figura 33). La metodología aplicada permitió identificar el procedimiento para obtener harina de frijol, y se mantuvo la calidad nutricional inicialmente observada en el grano (T3). En el tratamiento 3 (30 % de sustitución de harina de trigo por la mezcla de harina de yuca y frijol

biofortificado) se observa una conservación de los contenidos de proteína y micronutrientes (tabla 23). La sustitución parcial de harina de trigo por harina de yuca-frijol (30%: T3) presentó características nutricionales, microbiológicas y sensoriales adecuadas (tabla 24). Esta harina también permite otros usos en panificación, sustituyendo en un 30 % la harina de trigo por harinas de alto contenido de micronutrientes (hierro, zinc) (Cabal et al., 2014) (figura 32).



Foto: Adriana Patricia
Tofino Rivera

Figura 31. Pruebas del efecto del consumo de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39, Colegio Villa Yaneth en La Nevada, municipio de Valledupar.

98

Al igual que las evaluaciones sensoriales de grano de frijol, las evaluaciones de la aceptación de la galleta respecto a la receta original se realizaron en dos fases, la primera realizada por panaderos de Valledupar y otras pruebas más detalladas en sus variables de caracterización por 25 ingenieros de alimentos. Los panaderos identificaron que el tratamiento 3 presenta las mejores características de la masa y características de textura aceptables en la galleta (tabla 25). Adicionalmente, los panelistas expertos encontraron que la sustitución

de la harina de trigo por la mezcla de harina de frijol y yuca (25-30%) mejoró las variables sensoriales respecto a las galletas de harina de trigo (testigo) en las nueve variables evaluadas y que conservan las características nutricionales superiores de la materia prima (frijol biofortificado). Por tanto, se seleccionó como recomendación para la agroindustria la galleta 2, que corresponde al tratamiento 3, también evaluado en panadería, que presentaba la mayor sustitución (30%) (tablas 25 y 26).

Tabla 23. Evaluación de metodologías de producción de harinas de frijol para conservar la calidad nutricional

Tratamiento	Limpieza, selección y lavado manual	Remojo	Precocción	Macerado	Secado	Molienda y tamizado
T1	x				Natural	x
T2	x		1/40 °C (1:4)	x	4h/100 °C	x
T3	x		30 min/60 °C (1:4)		6h/100 °C	x

(Continúa)

(Continuación tabla 23)

Tratamiento	Limpieza, selección y lavado manual	Remojo	Precocción	Macerado	Secado	Molienda y tamizado
T4	x	14h(1-3)			16h/60 °C	x
T5	x	14h(1-3)	(olla a presión) (1:3)	x	12h/60 °C	x

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24. Comparación del contenido nutricional inicial de frijol biofortificado y yuca, respecto a las harinas de trigo con diferentes porcentajes de sustitución con harina mixta (frijol biofortificado-yuca)

Tratamiento	Repetición	Proteína (g/kg)	E.E.T. (g/kg)	FC (g/kg)	Cenizas (%)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Harina de yuca	-	14,89	4,20	59,60	2,40	-	-
Semilla de frijol	-	236,57	16,00	33,00	4,72	77,98	35,58
T1	R2	247,01	14,20	27,40	4,72	60,13	37,71
T1	R1	242,15	12,20	21,90	4,90	74,87	36,54
T2	R2	238,89	19,20	33,00	4,36	111,12	37,79
T2	R1	246,54	12,40	39,40	5,00	115,07	39,08
T3	R2	240,65	22,20	24,80	4,28	63,89	35,09
T3	R2	250,51	15,00	35,00	4,48	73,88	37,90
T4	R2	242,44	8,00	30,20	4,04	66,40	36,51
T5	R2	255,60	15,60	32,60	3,37	63,58	34,88
T5	R1	257,35	15,40	27,60	3,36	67,30	35,54

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25. Análisis físico-químico de la harina y sensorial de las galletas elaboradas con harina diluida de trigo con harina en mezcla de frijol y yuca

Análisis proximal de harina de frijol						
Tratamiento	Proteína (g/kg)	E.ET (g/kg)	EF (g/kg)	Cenizas (%)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/Kg)
T2	34,69	9,90	28,20	49,90	128,42	43,85
T3	35,89	11,50	34,80	46,60	113,53	44,67
Análisis sensoriales a galletas						
Tratamiento	Características de la masa					
	Olor a frijol	Color		Maleabilidad	Textura	
T3	Suave, agradable	Amarillo +/-		Excelente	Buena, +/- quebradiza	
T4	Suave, agradable	Oscuro, café		Mala	Quebradiza y arenosa	
Testigo	N	Amarillo		Buena	Suave	

T2: 25 % de la sustitución de harina de trigo por mezcla de harina de frijol y yuca; T3: 30% de sustitución de harina de trigo por mezcla de harina de frijol y yuca.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26. Evaluación sensorial de las galletas hecha por ingenieros de alimentos

Tratamiento	Apariencia	Color	Aroma	Sabor	Suavidad	Resistencia	Habilidad de hidratación	Percepción de gránulos	Residuo Final
Galleta 1	3,9a	4,0a	4,2a	4,0a	3,7a	3,6a	4,0a	4,0a	3,6a
Galleta 2	4,3a	4,5a	4,3a	4,3a	3,7a	3,9a	3,8a	4,0a	3,7a
Control	3,9a	4,0a	3,3b	2,7b	3,1a	3,0b	3,2b	3,2b	3,2a

Fuente: Elaboración propia



Fotos: Adriana Parricia
Tofino Rivera

100

Figura 32. Pruebas agroindustriales con harina producida con la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 a. Elaboración de harina de frijol; b. Elaboración de las mezclas de harinas de trigo, yuca y frijol; c. Panel de pruebas sensoriales con cuatro tipos de galletas (las tres mejores sustituciones de harina de trigo por la mezcla yuca-frijol y el testigo de la preparación tradicional con harina de trigo 100 %).

Ventajas de la nueva variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39

- ✦ Debido a su tolerancia al déficit hídrico se pueden obtener dos cosechas anuales y se recomienda su siembra en abril y octubre.
- ✦ Uniformidad de maduración de las vainas.
- ✦ Rendimiento igual o superior a $1,2 \pm 0,25$ t/ha, frente $0,7 \pm 0,2$ t/ha del testigo en monocultivo.
- ✦ Características de grano similares al tipo comercial radical.
- ✦ Precocidad frente a los frijoles tradicionales (de 75 a 84 días de siembra).
- ✦ Tolerancia moderada a plagas y enfermedades del Caribe seco.
- ✦ Alta calidad culinaria con tiempos de cocción sin remojo (60 minutos) menores a los frijoles tradicionales (90 minutos).
- ✦ Alta calidad nutricional del grano, lo que la hace ideal para mercados orientados a programas estatales o privados de seguridad alimentaria o dietas de alta calidad.





Consideraciones finales

Las características varietales de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 y su ambiente objetivo, subregión Caribe seco, le permiten al país contribuir en una zona vulnerable ecológicamente y deprimida socialmente con los objetivos de desarrollo del milenio de la Organización de las Naciones Unidas (PNUD, 2015), específicamente los siguientes:

Objetivo 1: erradicar la pobreza extrema y el hambre. La región Caribe presenta múltiples necesidades respecto a la calidad nutricional y la oferta de alimentos. A pesar de que el frijol común hace parte de la canasta básica de los departamentos que pertenecen al Caribe seco, no se cuenta con modelos productivos y cultivares mejorados, pues la producción se basa en materiales locales circunscritos a zonas de ladera con baja tecnificación. Por lo anterior, se presentan para el pequeño productor y para las etnias asentadas en la subregión periodos de baja oferta o insuficiente producción de alimentos por el aumento del tiempo que dura de la temporada seca.

La vinculación de variedades mejoradas con tolerancia al déficit hídrico (340 mm desde siembra hasta inicio de llenado de vainas) y alta productividad por unidad de área (Tofiño-Rivera et al., 2016a) disminuye los costos de producción asociados con el número de riegos suplementarios y la estacionalidad productiva relativa a los ciclos de precipitación. La producción de frijol, cuando la oferta de grano en la zona es baja, mejora la oferta de precios para el pequeño productor. Por tanto, la variedad biofortificada Corpoica Rojo 39 permite sembrar anticipadamente en el primer semestre y lograr los mejores precios del mercado por la baja oferta regional.

Objetivo 4: reducir la mortalidad en los niños menores de cinco años.

Objetivo 5: mejorar la salud materna. La deficiencia de micronutrientes constituye un problema de salud pública en Colombia. En 2015, se encontró anemia en el 47,4 % de los niños preescolares, en el 40,9 % de las mujeres en edad fértil y en el 44,7 % de las embarazadas (Lissbrant, 2015). La variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 cuenta con un 30 % adicional en hierro, que contribuye con el mejoramiento del estado de salud de mujeres y niños de zona rural gracias al autoconsumo. El contenido alto de microelementos como hierro (70 ppm) y zinc (35 ppm) es un valor agregado que responde a los bajos indicadores de ingesta de micronutrientes que registra la región en general y especialmente al bajo desarrollo de los niños de las etnias, lo cual afecta de manera negativa los índices de masa corporal y cognitivos en esas comunidades.

Objetivo 7: garantizar la sostenibilidad del medio ambiente. Se pretende vincular a los productores y a las comunidades indígenas a una nueva variedad de frijol cuyos atributos sean acordes con las demandas para la región Caribe colombiana. Esas demandas están relacionadas con materiales adaptados a temperaturas (temperatura nocturna $\geq 26^{\circ}\text{C}$) y condiciones predominantes para el Caribe seco colombiano con alta productividad ($1,0 \text{ t ha}^{-1}$), manteniendo los estándares de calidad para el mercado nacional. El menor tiempo de cocción implica un menor consumo de leña en los fogones de la zona rural del Caribe seco.

La nueva variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 también responde a diferentes demandas sectoriales consignadas en la plataforma Siembra, con la demanda Mejoramiento Genético, por ejemplo, desarrollo de variedades adaptadas a las condiciones ambientales de las zonas productoras, con alto potencial de rendimiento, resistentes a enfermedades limitantes y de mejor calidad nutricional; sistema de producción de frijol con bajo impacto ambiental; sistemas productivos orientados a la seguridad alimentaria; desarrollo de productos con valor agregado a partir de la harina de frijol y técnicas de agroindustrialización y transformación; identificación de costos de producción por zonas para frijol y habichuela (Siembra, 2018). Esta oferta tecnológica también está alineada con el plan estratégico 2018-2028 de AGROSAVIA, especialmente en lo que respecta a la vinculación como beneficiarios a los pueblos ancestrales asentados en el Caribe seco, y en la Meta 7 del marco estratégico corporativo relacionada con el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Agroindustrial (SNCTA), que se desarrolla a través de la conformación de

alianzas estratégicas participativas para la obtención, entrega y vinculación de oferta tecnológica, lo que permite la articulación y diferenciación de actores (Corpoica, 2017a).

Por tanto, la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 se desarrolló para beneficiarios del Caribe seco colombiano con sistemas de agricultura familiar, en predios de zonas cálidas ubicados entre 600-1.300 m s. n. m. y comunidades étnicas asentadas en la subregión sobre la Serranía del Perijá y la Sierra Nevada de Santa Marta. La inclusión del frijol biofortificado en complementación o remplazo del frijol criollo es factible, considerando que en la región el cultivo de frijol es tradicional y reconocido por culturas como la arhuaca (fiesta de la cosecha del frijol) y la wuayuu (preparación de poi). Sin embargo, los materiales criollos o locales presentan una baja tolerancia a la sequía, razón por la cual estos pueblos experimentan periodos en el año de oferta insuficiente de alimento. Así, la variedad biofortificada Corpoica Rojo 39 mitiga la vulnerabilidad de estos colectivos frente a la variabilidad climática cada vez más pronunciada en la zona.

Vale la pena resaltar que algunos rasgos de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39, como la duración del ciclo y el consumo de agua, respaldan lo anterior. Su mayor precocidad (87 días de siembra a cosecha), frente a los frijoles locales (95 días de siembra a cosecha), se deriva de la elección de parentales tolerantes a la sequía (consume un promedio de 480 mm de agua en la etapa de siembra a madurez de cosecha). Esto permite que pueda establecerse en el primer semestre de menor pluviosidad en el Caribe seco, normalmente improductivo para frijol y otros

cultivos semestrales, lo que lleva a obtener al menos dos cosechas anuales. A diferencia del material regional, la nueva variedad de frijol tolera el déficit hídrico y el exceso de humedad, gracias a la tolerancia a estas condiciones y a los patógenos del suelo de los parentales de las líneas sequía-mineral-rojo, de las cuales se deriva la variedad.

Las características varietales del cultivar favorecen la producción y el consumo con bajo impacto ambiental. De esta manera, respondiendo a la vulnerabilidad del agroecosistema objetivo, esta variedad contribuye a mantener las características del suelo, y así se evita la erosión eólica gracias a su alta cobertura del suelo y aporte al contenido de nitrógeno edáfico. También aporta a la disminución de las talas en zona de ladera, pues no requiere tutorado, y por su menor tiempo de cocción necesita un menor consumo de leña. Lo anterior, considerando que en los departamentos del Cesar y La Guajira el suministro eléctrico en zona rural es de los más bajos del país. Finalmente, por su tolerancia a plagas y enfermedades, precisa menor cantidad de aplicaciones de fungicidas e insecticidas.

Por otro lado, la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 presenta un comportamiento estable y predecible bajo las condiciones agroclimáticas de la subregión. También su contenido nutricional se mantiene dentro de los valores de alto mineral en producciones con tecnología local o con sistemas productivos tecnificados.

En las doce observaciones a las localidades enunciadas, en las evaluaciones en campo y en los laboratorios del CIAT se mantuvo la variedad de las concentraciones de hierro (70-106 ppm) y zinc (27-42 ppm). Asimismo, esta variedad constituye un producto con valor agroindustrial, porque el contenido nutricional y la biodisponibilidad de micronutrientes se mantienen en los procesos de transformación.

Así, pues, los elementos planteados en conjunto permiten afirmar que la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 es viable económica y socialmente gracias a su adaptación a las condiciones climáticas del Caribe seco, a una mayor productividad por área y al alto contenido nutricional, el cual favorece su utilización en mercados y programas de seguridad alimentaria. Esta variedad permite romper la estacionalidad productiva regional que normalmente se concentra en el último trimestre del año con el uso de materiales regionales. Lo anterior genera sobreoferta y déficit de semilla a través del año, lo que afecta el precio de venta del pequeño productor.

La variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 se financió con recursos de la Gobernación del Cesar a través del proyecto *Implementación del cultivo de frijol biofortificado en los focos productivos de frijol tradicional del departamento para su utilización como alternativa nutricional en los programas de seguridad alimentaria del Cesar*, y del MADR.



Conclusiones

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) hace parte de la canasta básica de la subregión Caribe seco y tiene arraigo cultural inclusive entre los pueblos originarios que están asentados en esta. Sin embargo, la carencia de variedades mejoradas disponibles constituye uno de los limitantes de la competitividad regional del cultivo, entre otros aspectos productivos y socioeconómicos. Uno de estos elementos sociales que pueden favorecer la cadena de suministro de frijol lo constituye la presencia de indicadores deficitarios respecto a la ingesta de proteína y micronutrientes en la población base de la subregión, que advierten la necesidad de ofertar alimentos con alto valor nutricional y postulan al frijol como un excelente modelo para la biofortificación de cultivos. En este sentido, diferentes estudios realizados en el país evidencian que una de cada diez mujeres gestantes de 13 a 49 años padece anemia ferropénica, siendo mayor la proporción en la zona rural. Por otro lado, la anemia en niños y niñas de 6 a 59 meses de edad afecta al 27,5 % de la población. Esta tendencia nutricional deficitaria se acentúa en el departamento de La Guajira, por ejemplo, donde se superan los promedios nacionales con 38,9 %, y el segmento indígena con una prevalencia de anemia 32,6 %. Con relación al zinc, se registra que la prevalencia de deficiencia en población infantil de 1 a 4 años fue de 43,3 %, siendo más afectada la población indígena, con 56,3 %, y la población rural, con un 47,8 %.

En este documento se describió el proceso realizado desde la evaluación de germoplasma, registro ante el ICA y producción de semilla certificada para entregar a los beneficiarios del Caribe seco durante el lanzamiento. Asimismo, se registraron las recomendaciones generales para el manejo adecuado de la variedad bajo las condiciones agroecológicas de la subregión Caribe seco.

De acuerdo con lo anterior, los resultados del trabajo realizado en el marco de la alianza AGROSAVIA-CIAT permiten afirmar que la demanda de cultivos con alto contenido de micronutrientes o biofortificados puede atenderse desde las herramientas del fitomejoramiento convencional, pues a través del trabajo articulado de estas instituciones se generó la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 para la región Caribe seco. El centro CIAT, a través de sus programas de mejoramiento de frijol y HarvestPlus, obtuvo poblaciones avanzadas de frijoles mesoamericanos a partir de cruzamientos dobles entre genotipos interespecíficos con alto contenido de hierro, genotipos élite de alto hierro, tolerantes a sequía y con alto rendimiento, a partir del cual se pasó de una línea base de 50 a 110 ppm de Fe y 20 a 45 ppm de Zn. El desarrollo de frijoles biofortificados implica al menos ocho pasos que corresponden a la identificación de la población objetivo, al establecimiento de las metas nutricionales por cumplir mediante mejoramiento, la evaluación del contenido de micronutrientes en las colecciones de germoplasma, la identificación de los genotipos superiores en torno a los micronutrientes, el cálculo de la retención nutricional y la biodisponibilidad, las pruebas de interacción genotipo X ambiente en regiones o países clave, las pruebas de eficacia en humanos y la liberación de variedades.

En el departamento del Cesar se evaluaron diferentes poblaciones con un componente significativo del acervo mesoamericano, como sequia-mineral-crema (SMC), sequía-mineral-negro (SMN), sequía-mineral-blanco (SMB), principalmente con diferencias en las tipologías de semilla. Dado que se requería identificar al menos un genotipo que cumpliera con varias características de interés para superar a las variedades locales, se utilizó un índice de selección función discriminante, como una forma lógica y sistemática en la selección de líneas para mejorar simultáneamente varias características cuantitativas. Se calculó el índice con la aplicación de la fórmula $\{(4X \text{ rendimiento} + 3 X \text{ contenido nutricional}) - 5 (\text{tipo de grano})\}$, y esto permitió identificar genotipos rendidores, de alto contenido nutricional y tipología de semilla deseable para cultivadores y consumidores de la zona. Los nueve mejores genotipos de acuerdo con el índice propuesto se inscribieron a las PEA en cuatro localidades con condiciones ambientales contrastantes. Los resultados sugieren que la población SMR que presentó el mayor número de genotipos identificados con el índice de selección aplicado fue la mejor para las características agroecológicas del Caribe seco en la franja 600-1300 m s. n. m., pues ambas variedades registradas de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 y 43 provienen de dicha población.

Los resultados de las evaluaciones multilocales se examinaron mediante análisis de varianza de correspondencia múltiple y análisis multivariado AMMI. La aplicación del análisis AMMI para la subregión Caribe seco fue apropiada porque permitió complementar los resultados del análisis de varianza que desglosa los efectos aditivos del germoplasma evaluado en sus componentes genotipo y ambiente, con un análisis de los efectos multiplicativos (GxA). Esto permitió que se pudiesen identificar en el Cesar las localidades que maximizaban el rendimiento general del ensayo, como Manaure, y las localidades que restringían el rendimiento general del ensayo, como Valledupar. También ayudó a identificar la estabilidad y predictibilidad de los genotipos entre localidades, lo cual constituyó un criterio de importancia en la selección de los genotipos que se postularon ante el ICA para registro (SMR39 y SMR43).

Las evaluaciones de germoplasma conducentes al registro de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 mostraron que en el Caribe seco todos los genotipos de frijol biofortificado evaluados superaron de manera significativa en rendimiento al testigo regional y su contenido de micronutrientes. Dentro del grupo de biofortificados, los genotipos DOR390, SMC14, SMR3, y SMR39 presentaron un comportamiento productivo estable y predecible. Los dos primeros no corresponden a las características de grano del mercado

colombiano, pero tendrían oportunidad en los mercados de exportación. De igual forma, el genotipo SCR3 requeriría un proceso adicional de selección por planta individual para eliminar el problema de volcamiento que evidenció durante la prueba. El SMR39 presentó características apropiadas para el mercado colombiano de grano seco y se registró como Corpoica Rojo 39. La precocidad fue una característica de interés en la evaluación del grupo de biofortificados, y se encontró que el genotipo de frijol biofortificado SMN18 se cosechó a los 74 días, mientras que el testigo a los 87. Otros biofortificados precoces fueron SCR3 y SMR39. En general todos los biofortificados se cosecharon antes que el testigo regional.

En las evaluaciones realizadas en el Caribe seco se identificó, durante el periodo 2011-2012, principalmente el ataque de antracnosis (*Colletotrichium lindemuthianum*), que presentó variabilidad en incidencia y severidad entre el grupo de biofortificados y el testigo regional; los mejores genotipos fueron SMR39 y SMR43 (se registró como Corpoica rojo-43). Sin embargo, durante las pruebas semicomerciales y la producción de semilla certificada se identificaron, además de antracnosis, otras enfermedades prevalentes como mustia hilachosa. La incidencia de plagas mostró una mayor afectación de *Empoasca kraemeri* para el testigo regional, con un 20 % de daño en el follaje, mientras que los genotipos biofortificados SMR39, SMR43, SMN18 y SMC14 no mostraron afectación foliar por ataque de plagas durante la etapa fenológica evaluada. En las evaluaciones posteriores, se registró en Caribe seco, además de mosca blanca, la afectación por lorito verde y mojoyoy.

109

En el Caribe seco todo el grupo de biofortificados se diferenció estadísticamente del testigo regional en cuanto al contenido de hierro en la semilla, y así se confirmaron sus características de contenido nutricional superior. El mejor genotipo biofortificado fue SMR43, pero el genotipo SMR39 se mantuvo en una categoría superior al testigo. También en lo referente a tiempo de cocción e índice de absorción de agua, el grupo de genotipos biofortificados se diferenció estadísticamente del testigo regional; los mejores biofortificados fueron SMR43 y SMR39 y, por tanto, se inscribieron en el registro nacional de cultivares del ICA para la subregión del Caribe seco.

Estos resultados en conjunto indican que la ruta de evaluación de germoplasma, el índice de selección aplicado, los ambientes seleccionados y el análisis de datos aplicado en la subregión del Caribe seco fueron apropiados. Por tanto, los sucesivos procesos de mejoramiento pueden incluir los pasos aquí referidos y la base genética mesoamericana, pues el rendimiento y

la tolerancia a plagas y enfermedades observada por los genotipos de este acervo han sido significativos. La identificación de localidades que maximizan la expresión del potencial genético de los genotipos priorizados con el índice de selección permitió la definición de la zona idónea para el desarrollo de las pruebas semicomerciales y la producción de semilla genética y certificada de las variedades registradas posteriormente.

La variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 se liberó para consumo como grano seco y la agroindustria, ya que conserva su contenido nutricional después de la transformación. Es la primera variedad de frijol arbustivo determinado registrada para las condiciones agroecológicas de la subregión del Caribe seco colombiano, y presenta tolerancia al déficit hídrico. Esta variedad tiene un espectro importante de posibles adoptantes, pues se registraron en 2014, semestre B, 4.278 productores de frijol común en el Caribe seco, correspondientes a un área cosechada de 12.095 ha (Cesar 7.107 ha, Guajira 1.546, Magdalena 2.619, Atlántico 8.232). En cuanto al enfoque étnico en el Caribe seco, se reportan 4.707 productores indígenas de frijol (3.935 productores en Guajira, 396 productores en Cesar; 375 en Magdalena).

Las características del grano de la variedad biofortificada corresponden a la clase comercial radical, con semilla de grano rojo opaco, alargado (11,9 mm × 7,8 mm), con alta calidad nutricional otorgada por la concentración de micronutrientes (hierro 70-106 ppm y zinc 27-42 ppm, con respecto a los testigos DOR500 y MIB465). Esta variedad responde a las demandas tradicionales del mejoramiento y a las demandas del contexto regional, ya que su semilla contiene alta concentración de micronutrientes como el hierro (86 ppm) y el zinc (37 ppm). Esta variedad también cuenta con atributos de tolerancia a la baja disponibilidad de agua y tiene mayor rendimiento (29 %) que las variedades locales, aun durante años afectados por fenómenos climáticos extremos; esto aporta beneficios a la productividad del frijol y a la seguridad alimentaria regional.

Por otro lado, en este documento se describieron, con un mayor detalle, los resultados más relevantes de la investigación realizada en el Cesar a partir de evaluaciones de germoplasma de poblaciones con atributos sequía-mineral-rojo, hasta alcanzar la obtención de la nueva variedad en la subregión del Caribe seco; asimismo, las características varietales del frijol biofortificado Corpoica rojo 39, las principales recomendaciones de manejo del cultivo para minimizar el impacto ambiental y el análisis económico del frijol producido bajo las condiciones de la subregión Caribe seco.

Por otro lado, la liberación de una nueva variedad de alto rendimiento y valor agregado requiere otras consideraciones de contexto para identificar la mejor estrategia de difusión o vinculación tecnológica. El cultivo de frijol común en el Caribe seco colombiano se ha basado principalmente en la economía de subsistencia, motivo por el cual el consumo regional del grano se sustenta en la producción generada en otras zonas del país. La introducción de las primeras variedades mejoradas de frijol común en el territorio, con atributos de valor como la biofortificación y un paquete tecnológico sostenible para su producción, no garantiza por sí misma una adopción sostenible de la oferta tecnológica. Esto principalmente se debe a que el mantenimiento de los cultivos en el campo depende, además de la vocación productiva y el autoconsumo, de otros factores preponderantes como el acceso a crédito, al mercado, la estabilidad de los precios, la relación costo/beneficio y otros condicionantes más allá del componente tecnológico. Agrosavia ha incluido la noción de territorio en su accionar como motor, actor y soporte (MAS) del SNCTA en Colombia para incrementar el impacto social de su oferta tecnológica. Esto constituye un reto para la corporación en el escenario de la Ley 1876 de 2017 del Sistema Nacional de Innovación agropecuaria (SNIA), pues no solo implica generar variedades de alta eficiencia agronómica, sino que además se requiere un análisis multidimensional para identificar las zonas con ventajas comparativas para su producción, las tipologías de productor por impactar en las estrategias de vinculación tecnológica, los mercados y los volúmenes que estos pueden absorber, los actores claves del territorio que pueden facilitar la articulación productiva y la asistencia técnica.

Así, pues, es necesario articular actores relevantes de la cadena de suministro del frijol alrededor de la innovación del frijol biofortificado para desarrollar nuevos productos agroindustriales a partir del grano y subproductos de cosecha y transformación para aprovechar sus características varietales, como la duración de la lámina foliar que se mantiene incluso durante el secado de vainas y el alto contenido de minerales en el grano. Atendiendo al hecho para los departamentos que conforman la subregión, como La Guajira, Cesar, Magdalena y Atlántico, la agroindustria es una prioridad para el desarrollo local sostenible. También la promoción de segmentación en el mercado de frijol sería una alternativa apropiada para beneficiar a los productores gracias a los atributos de valor agregado por su mayor contenido nutricional. La comercialización en ciclo corto y la venta asociativa permitirían suplir una demanda constante del comercio formal por la producción local.

De acuerdo con lo anterior, los resultados generados por AGROSAVIA indican alternativa para responder a la demanda del país en cuanto a producir alimentos de alta durabilidad y simplicidad de preparación para facilitar un suplemento nutricional en población infantil de 7-11 años, dado los reportes nacionales de deficiencia de hierro en niños de 2 a 8 años del 58,2 %. La ingesta regular de biofortificados en niños afectó de manera positiva la ferritina, respecto al control no intervenido: transferrina ($p < 0,001$) e IMC ($p = 0,01$). La harina de frijol biofortificado conservó su contenido nutricional después del procesamiento 236,3 g proteína/kg, 67 ppm de Fe y 35,09 ppm de Zn.

112

Durante la investigación, se desarrolló un protocolo de elaboración harina mixta de frijol-yuca-trigo para producción de galletas de alta calidad nutricional y sensorial. Durante la panificación se sustituyó el 30 % de la harina de trigo por la mezcla de harina de yuca (15 %) y frijol biofortificado (15 %), y las pruebas sensoriales no mostraron diferencia con respecto a la galleta comercial. La metodología incluyó dos tipos de harina de frijol en igual proporción obtenidas a través de diferentes técnicas, que luego fueron mezcladas con yuca y trigo. Se midió el contenido de nutrientes y su viscosidad en relación con las harinas de trigo y yuca convencionales; luego, se procedió a la producción de galletas seleccionadas de acuerdo con análisis microbiológico y pruebas de aceptación sensorial. La metodología para la obtención de harina de frijol incluyó lavado, precocción (1h/40 °C) en proporción 1:4 de agua, con posterior macerado y secado en horno por 4h/100 °C, dada la conservación de diversos nutrientes. La mezcla de harinas con mejores propiedades reológicas y reducción de fenoles totales hasta un 50 % consistió en 15 % frijol, 15 % yuca y 70 % trigo, para la elaboración de galletas que presentaron mayor aceptabilidad por su aroma y sabor. Por tanto, se recomienda el desarrollo de estudios complementarios para evaluar el efecto del consumo de las galletas en los niños del Caribe colombiano.

Finalmente, teniendo en cuenta que el frijol es un cultivo acompañante de otros anuales o permanentes como la caña panelera, el cacao, el café y los frutales, tanto en el interior de los pueblos ancestrales como de los pequeños productores, las áreas de cultivo son pequeñas (0,5-2,0 ha). Por tanto, es necesario vincular, además de la semilla certificada de la variedad biofortificada, las recomendaciones de manejo con enfoque de agricultura intensiva sostenible para alcanzar rendimientos por encima del promedio regional y un bajo impacto ambiental, pues debido a sus características ambientales, que propician la aridez, los suelos del Caribe seco son vulnerables y la adición indiscriminada de agroquímicos afecta de forma negativa la dinámica microbiana y, por ende, la calidad del suelo. Las prácticas de manejo del frijol que eviten la erosión promuevan

la cobertura del suelo, la actividad microbiana y el manejo del agua, y mitigan el impacto de la agricultura sobre el aumento de la degradación del suelo en la subregión.

La masificación del cultivo del frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 ofrece un mejoramiento de las condiciones nutricionales de los productores debido a la tasa significativa de autoconsumo y de ingreso, derivado del valor agregado nutracéutico y agroindustrial del frijol. Los resultados alcanzados por AGROSAVIA fortalecerán la cadena de suministro de frijol gracias al eslabonamiento con la política pública regional, que favorecerá la apertura de un mercado orientado hacia el programa de seguridad alimentaria con beneficio a las comunidades vulnerables en zona urbana y rural.

Esta variedad constituye un aporte a la sostenibilidad de la agricultura familiar frente al escenario de variabilidad y cambio climático, ya que presenta productividad por encima del promedio regional, tanto en años secos como en años con precipitación excesiva, aspecto que reduce la incertidumbre generada por las variedades locales y favorece la producción de grano en ambos semestres. El reto actual para AGROSAVIA es desarrollar nuevas variedades biofortificadas con contenidos superiores de minerales, no solo para la franja altitudinal de la variedad registrada, sino también para la zona del valle del Cesar y la franja por encima de 1500 m s. n. m., donde las variedades locales de origen andino presentan alta incidencia de plagas y enfermedades.



Los autores

Adriana Patricia Tofiño Rivera

atofino@agrosavia.co

Ingeniera agrónoma, magíster en Ciencias Agrarias, PhD en Ciencias Agropecuarias Área Agraria de la Universidad Nacional de Colombia. Ha trabajado en investigación y docencia universitaria en recursos fitogenéticos neotropicales, fitopatología y fisiología vegetal, biotecnología y procesos sostenibles de producción de cultivos biofortificados, hortalizas, raíces y tubérculos. Actualmente, es investigadora PhD senior, adscrita a la Red de Hortalizas y Aromáticas de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Yanine Roza Leguizamón

yrozo@agrosavia.co

Ingeniera agrónoma, magíster en Planeación Socioeconómica. Se ha desempeñado en áreas de la socioeconomía, desarrollo rural y sociología rural en temas de caracterización de sistemas productivos en hortalizas. Actualmente, es investigadora máster, adscrita a la Red de Hortalizas y Aromáticas de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Carina Cecilia Cordero Cordero

ccordero@agrosavia.co

Ingeniera agrónoma, magíster en Ciencias Agronómicas con énfasis en Fisiología Vegetal, con experiencia en investigación en cultivos de caña de azúcar, maíz, frijol y estevia, y en docencia universitaria como catedrática en la electiva caña de azúcar. Actualmente, es investigadora máster, adscrita a la Red de Hortalizas y Aromáticas de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Pablo Julián Tamayo Molano

ptamayo@agrosavia.co

Ingeniero agrónomo de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira; magíster de la Universidad Federal de Vicosa, Brasil. Trabajó durante 12 años con el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) y se encuentra actualmente vinculado a AGROSAVIA (anteriormente Corpoica) desde 1993 en el Centro de Investigación La Selva, donde ha desarrollado proyectos de investigación en el área de resistencia genética y control de enfermedades causadas por hongos, bacterias, virus y nematodos en frutales de clima cálido y frío moderado, hortalizas, leguminosas, papa, estevia, café, sorgo y control biológico. Lidera productos de investigación de frijol y adicionalmente realiza actividades de investigación en aguacate; y actualmente es investigador máster senior, adscrito a la Red de Hortalizas y Aromáticas de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).





Referencias

- Alentado Morell, N., Cabo Masip, T., Victoria Miñana, I., & Dalmau Serra, J. (2010). Polivitamínicos y minerales en la infancia. ¿Son necesarios? *Acta Pediátrica Española*, 68(1), 25-33.
- Araujo, A. & Grandi Teixeira, M. (2008). Relationships between grain yield and accumulation of biomass, nitrogen and phosphorus in common bean cultivars. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32(5), 1977-1986.
- Araméndiz Tatis, H., Espitia Camacho, M., & Cardona ayala, C. (2017). Adaptabilidad y estabilidad fenotípica en cultivares de frijol caupí en el caribe húmedo colombiano. *Bioteχνología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 15(2), 14-22.
- Araya Villalobos, R. & Hernández Fonseca, J. C. (2007). *Protocolo para la producción local de semilla de frijol*. Recuperado de http://www.agronomia.ucr.ac.cr/documentos/pdf/Protocolo%20prod_semillas.pdf.
- Arias Restrepo, J., Rengifo Martínez, T., & Jaramillo Carmona, M. (2007). *Buenas prácticas agrícolas (BPA) en la producción de frijol voluble*. Medellín, Colombia: Gobernación de Antioquia, Mejoramiento Alimentario y Nutricional de Antioquia (MANA), Corporación Agropecuario de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).
- Asensio-S.-Manzanera, M. C., Asensio, C., & Singh, S. P. (2005). Introgressing resistance to bacterial and viral diseases from the middle American to Andean common bean. *Euphytica*, 143(1-2), 223-228.
- Ávila, E. (2015). *Manual de frijol*. Bogotá, Colombia: Cámara de Comercio de Bogotá.
- Aristizábal, J., Sánchez, T. & Mejía Lorio, D. (2007). *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).
- Banco Interamericano de Desarrollo (BID) & Gobernación del Atlántico. (1 de noviembre de 2011). *Caribe sin hambre*. Recuperado de http://www.atlantico.gov.co/images/stories/rendicion/caribe_sin_hambre_version_final.pdf.
- Barrios-Gómez, E. J., López-Castañeda, C., & Kohashi-Shibata, J. (2011). Relaciones hídricas y temperaturas altas en frijol del tipo "flor de mayo". *Agronomía Costarricense*, 35(1), 131-145.
- Beaver, J. S. & Osorno, J. M. (2009). Achievements and limitations of contemporary common bean breeding using conventional and molecular approaches. *Euphytica* 168(2), 145-175.
- Beebe, S., Rao, I., Cajiao, C., & Grajales, M. (2008). Selection for Drought Resistance in Common Bean Also Improves Yield in Phosphorus Limited and Favorable Environments. *Crop Science*. 48(2), 582-592.

- Beebe, S., Ramírez, J., Jarvis, A., Rao, I., Mosquera, G., Buejo, ..., Blair, M. (2011). Genetic improvement of common beans and the challenges of climate changes. En H. Lotze-Campen, & S. Singh Yadav (Eds.), *Crop Adaptation to Climate Change* (pp. 356-369). Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Beyra, A. & Reyes Artiles, C. (2004). Revisión taxonómica de los géneros *Phaseolus* y *Vigna* (Leguminosae-Papilionoideae) en Cuba. *Anales del Jardín Botánico de Madrid*, 61(2), 135-154.
- Blair, M., Monserrate, F., Beebe, S., Restrepo, J., & Ortubé Flores, J. (2010). Registration of high mineral common bean germplasm lines NUA35 and NUA56 from the red-mottled seed class. *Journal of Plant Registrations Abstract*, 4(1), 55-59.
- Blair, M., Galeano, C., Tovar, E..., Rao, I. (2012). Development of a Mesoamerican intra-genepool genetic map for quantitative trait loci detection in a drought tolerant × susceptible common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cross. *Molecular Breeding*, 29(1), 71-88.
- Brenes, A. & Bonilla, A. (2012). *La Niña 2010-2012. Estudio de caso Costa Rica*. Recuperado <https://www.preventionweb.net/english/hyogo/gar/2013/en/bgdocs/Brenes%20and%20Bonilla,%202012.pdf>.
- Cabal G., D. C., Melo R., A., Lissbrant, S., Gallego C., S., Echavarría, M. de la L., & Tofiño, A. (2014). Highly nutritional cookies based on a novel bean-cassava-wheat flour mix formulation. *Agronomía Colombiana*, 32(3), 407-416.
- Cabañas Echevarría, M. (2014). Postcosecha del grano de frijol. Prácticas alternativas para su manejo. *Ministerio de Agricultura de Cuba-PNUD*. Recuperado de <http://www.undp.org/content/dam/cuba/docs/Desarrollo%20humano/Palma-Agrocadenas/Poscosecha%20de%20granos-Folleto.pdf>.
- Carrillo Centeno, P., Chow, Z., Cuadra, S., Brenes, D., & Pachón, H. (2011). Aceptación de tres líneas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) mejorado nutricionalmente por los consumidores nicaragüenses. *Perspectiva en Nutrición Humana*, 13(2), 179-189.
- Cartay, R. (2005). *Diccionario de la cocina venezolana*. Caracas, Venezuela: Alfadil Ediciones.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). (2010). *Laboratorio de calidad nutricional*. Cali, Colombia: autor.
- Chávez, N. F. & Gutiérrez, M. V. (2017). Respuestas al estrés por calor en los cultivos. II. Tolerancia y tratamiento agronómico. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 255-271.
- Checa Coral, O. E., Yama Escobar, V. M., & Fuel Tobar, S. M. (2011). Evaluación por componentes de rendimiento de nueve genotipos y un testigo de frijol arbustivo *Phaseolus vulgaris* L. *Revista de Ciencias Agrícolas*, XXVIII(1), 73-90.
- Cichy, K. A., Blair, M. W., Galeano Mendoza, C. H., Snapp, S. S., Kelly, J. D. (2009). QTL analysis of root architecture traits and low phosphorus tolerance in an Andean bean population. *Crop Science*, 49(1), 59-68.

- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). (2012). *Implementación del frijol biofortificado en los focos productivos de frijol tradicional del departamento para su utilización como alternativa nutricional en los programas de seguridad alimentaria del Cesar (2010-2012)* [Informe final]. Mosquera, Colombia: autor.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). (2015). *Obtención y registro de una variedad de frijol biofortificado rojo. Prueba de Evaluación Agronómica de nueve variedades de frijol biofortificado (Phaseolus vulgaris L.) en la subregión Caribe seco de Colombia* [Informe final]. Mosquera, Colombia: autor.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). (2017a). *Informe al MADR meta liberación variedades de frijol biofortificado*. Documento interno Agenda Corporativa. Mosquera, Colombia: autor.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). (2017b). *Marco estratégico corporativo 2018-2028. Nuestra hoja de ruta para cumplirle al país*. Recuperado de <http://intranet.corpoica.org.co/GestionOrganizacional/Documentos%20corporativos/Marco%20Estrat%C3%A9gico%20Corporativo%202018-2028.pdf#search=mec>.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). (2018a). *Informe de alcance de la meta: diagnóstico de las condiciones socioeconómicas de la producción de hortalizas para el Caribe*. Valledupar, Colombia: autor.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). (2018b). *Informe meta: "análisis socioeconómico de hortalizas priorizadas en el Caribe"*. Mosquera, Colombia: autor.
- Cruz-Bravo, R. K., Guzmán-Maldonado, Herrera, M. D., Cid, Ríos, J. A., & Juárez García, M. (2015). *Galletas con harina de frijol de alta calidad nutricional y nutraceutica*. Recuperado de www.inifap.gob.mx/Documents/transparencia/...2015/PUBLICACION%2026.pdf
- Cubero Salmerón, J. I. & Flores Gil, F. (1994). *Métodos estadísticos para el estudio de la estabilidad varietal en ensayos agrícolas*. Granada, España: Junta de Andalucía.
- Debouck, D. G., & Hidalgo, R. (1985). Morfología de la planta de frijol común. En M. López Genes, F. Fernández, & S. Aart van (Eds.), *Frijol: investigación y producción* (pp. 7-41). Cali, Colombia: Programa de las Naciones Unidas (PNUD), Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Del Castillo M., S., Fonseca, Z., Mantilla, M., & Mendieta, N. (2012). Estudio para la medición de seguridad alimentaria y nutricional en el Magdalena medio colombiano. Caso Cesar. *Revista Facultad de Medicina*, 60(1), 13-27.
- De Dios Espinobarros, O. (2012). *Características morfológicas, culinarias y contenido de taninos de semillas de frijol criollo (Phaseolus vulgaris L.) cultivado en comunidades de la región montaña de Guerrero* (tesis de maestría). Colegio de Postgraduados, Puebla, México.

- Eberhart, S.A. & Russell, W. A. (1966). Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, 6, 36-40.
- Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas (Fenalce). (2004). *Resumen de sensibilidades. Características generales por producto*. Recuperado de <http://fenalce.org/archivos/frijoldmlm.pdf>
- Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas (Fenalce). (2010). *Indicadores sectoriales frijol*. Recuperado de http://www.fenalce.org/archivos/situa_frijol.pdf.
- Frahm M. A., Rosas, J. C., Mayek-Pérez, N., López-Salinas, E., Acosta-Gallegos, J., & Kelly, J. D. (2004). Breeding beans for resistance to terminal drought in the lowland tropics. *Euphytica*, 136(2), 223-232.
- Fikere, M., Tadesse, T., & Letta, T. (2008). Genotype-environment interactions and stability parameters for grain yield of faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes grown in south eastern Ethiopia. *International Journal of Sustainable Crop Production*, 3(6), 80-87
- Frei, A., Blair, M. W., Cardona, C., Beebe, S. E., Gu, H., Dorn, S. (2005). QTL mapping of resistance to *Thrips palmi* Karny in common bean. *Crop Science*, 45(1), 379-387.
- Furtdado Ferreira, D., Borges Demétrio, C.G., Manly, B. F. J., De Almeida Machado, A., & Vencovsky, R. (2006). Statistical model in agriculture: Biometrical methods for evaluating phenotypic stability in plant breeding. *Cerne*, 12(4), 373-388.
- García-Esteve, A., Kohashi-Shibata, J., Baca-Castillo, G.A, & Escalante-Estrada, J.A.S. (2003). Rendimiento y asignación de materia seca de una variedad de frijol en un sistema hidropónico y suelo. *TERRA*, 21(4), 471-480.
- Gauch, H. G., & Zobel R. W. (1996). Optimal replication in selection experiments. *Crop Science*, 36(4), 838-843.
- Gauch, H. G. (2006). Statistical analysis of regional yield trials by AMMI and GGE. *Crop Science*, 46(4), 1488-1500.
- Gobernación del Cesar. (2012). *Plan de desarrollo departamental. Prosperidad a salvo*. Recuperado de http://cesar.gov.co/d/filesmain/plan_desarrollo/Plan_de_Desarrollo_Prospereidad_A_Salvo.pdf.
- Gobernación del Cesar. (2016). *Plan de desarrollo departamental 2016-2019. El camino del desarrollo y la paz*. Recuperado de http://cesar.gov.co/d/filesmain/plan_desarrollo/plan_de_desarrollo_departamental_2016-2019_el_camino_del_desarrollo_y_la_paz.pdf.
- Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Alam, M., Roychowdhury, R., & Fujita, M. (2013). Physiological, Biochemical, and Molecular Mechanisms of Heat Stress Tolerance in Plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(5), 9643-9684.
- Hernández Villalobos, J. C. & Araya Villalobos, R. (2003). *Cabécar: Variedad de frijol de grano rojo. Informe técnico de la variedad Cabécar para su inscripción en el Registro de Variedades Comerciales de la Oficina Nacional de Semillas*. Recuperado de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/pitta-frijol-informe-Cabecar.pdf>.

- Herrera Flores, T. S., Ortiz Cereceres, J., Delgado Alvarado, A., & Acosta Galleros, J. A. (2014). Contenido de osmoprotectores, ácido ascórbico y ascorbate peroxidasa en hojas de frijol sometidas a estrés por sequía. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(5), 859-870.
- Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (ICBF). (2015a). *Encuesta Nacional de la Situación Nutricional en Colombia*. Bogotá, Colombia: autor.
- Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (ICBF). (2015b). *Plato saludable de la familia colombiana: guías alimentarias basadas en alimentos para la población colombiana mayor de 2 años*. Bogotá: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (ICBF).
- Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (ICBF). (2015c). *Tabla de composición de alimentos colombianos*. Recuperado de https://www.icbf.gov.co/sites/default/files/tcac_2015_final_para_imprimir.pdf.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam), Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Alcaldía de Bogotá, Gobernación de Cundinamarca, Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), Corporación Autónoma Regional Del Guavio (Corpoguavio), Instituto Alexander von Humboldt, Parques Nacionales Naturales de Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), & Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2014). *Vulnerabilidad de la región capital a los efectos del cambio climático. Opciones para la adaptación*. Recuperado de http://www.ideam.gov.co/documents/40860/609198/Policy+paper_05_Vulnerabilidad+de+la+Región+Capital.pdf/4b603362-a58b-4a8b-898d-4df500b2536f?version=1.0.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (IICA). (2009). *Guía técnica para el cultivo de frijol en los municipios de Santa Lucía, Teustepe y San Lorenzo del departamento de Boaco, Nicaragua*. Recuperado de <http://repiica.iica.int/DOCS/B2170E/B2170E.PDF>.
- Jacinto Hernández, C., Carrillo Castañeda, G., & Campos Escudero, A. (1996). Caracterización de cuatro variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) por sus cualidades físicas y nutricionales. I. Aspectos metodológicos. *Agronomía Mesoamericana*, 7(2), 37-41.
- Kornegay, J., White, J. & Ortiz de la Cruz, O. (1992). Growth habit and gene pool effects on inheritance of yield in common bean. *Euphytica*, 62(3), 171-180.
- Lata, C. & Prasad, M. (2011). Role of DREBs in regulation of abiotic stress responses in plants. *Journal of Experimental Botany*, 62(14), 4731-4748.
- Lau, C., Jarvis, A., & Ramírez, J. (2011). Agricultura colombiana: adaptación al cambio climático. *CIAT Políticas en Síntesis*, (1), 4.
- León Moreno, C. E., & Jiménez Arango, F. (2002). *Nueva variedad de frijol arbustivo para clima medio*. Bucaramanga, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).

- León Moreno, C. E., Moreno Quintero, H. A., & Fuentes Cárdenas, C. E. (1998). Corpoica Froilán variedad de frijol tipo radical para clima medio. En Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, *Memorias del 4.º Seminario Técnico Regional* (pp. 6-14). Bucaramanga, Colombia: autor.
- Lissbrant, S. (2015). Seguridad alimentaria y nutricional en la región Caribe: consecuencias de la desnutrición y buenas prácticas como soluciones. *Investigación & Desarrollo*, 23(1), 117-138.
- López, E., Becerra, N., Cano, O., Zaleta, D., & Acosta, J. (1996). Adaptación y calidad tecnológica de la variedad de frijol negro tacana. *Agronomía Mesoamericana*, 7(1), 26-34.
- López, J. E. & Ligarreto, G. A. (2006). Evaluación por rendimiento de 12 genotipos promisorios de frijol (*Phaseolus vulgaris* L) voluble tipo bola roja y reventón para las zonas frías de Colombia. *Agronomía Colombiana*, 24(2), 238-246.
- López Salinas, E., Acosta Gallegos, J. A., Tosquy Valle, O. H., Salinas Pérez, R. A., Sánchez García, B. M., Rosals Serna, R., ... Zandate Hernández, R. (2011). Yield stability of improved mesoamerican genotypes of black common bean in México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(1), 29-40.
- Lorenzo, E., Guerra, P., Rodríguez, R., Rivera, E., González, F., Jiménez, V., & Rojas, E. (2003). Validación de frijol de grano rojo pequeño en Chiriquí, Panamá. *Agronomía Mesoamericana*, 14(1), 11-14.
- Marrugo-Arnedo, C A., Del Risco-Serje, K. P., Marrugo-Arnedo, V. del C., Herrera-Llamas, J. A., & Pérez-Valbuena, G. J. (2015). Determinantes de la pobreza en la región Caribe colombiana. *Revista de Economía del Caribe*, (15), 47-69.
- Melo, A., Ariza, P., Lissbrant, S., & Tofiño, A. (2015). Evaluation of agrochemicals and bioinputs for sustainable bean management on the Caribbean coast of Colombia. *Agronomía Colombiana*, 33(2), 203-211.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). (2016). *Anuario estadístico del sector agropecuario 2014. Resultado evaluaciones agropecuarias municipales*. Bogotá, Colombia: autor.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2005). *Plan de Acción Nacional. Lucha contra la desertificación y la sequía en Colombia*. Recuperado de http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Zonas-Secas/5596_250510_plan_lucha_desertificacion.pdf.
- Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras (MDRyT), Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), & Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA). (s. f.). *Recomendaciones para la selección. Manejo y tratamiento de semilla de frijol*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-as960s.pdf>.
- Ministerio de Cultura de Colombia, Fundación Cerrejón Guajira Indígena, e Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (ICBF). (2014). *Los frutos del desierto de Juya: alimentación, cocina y uso de las plantas silvestres en La Guajira*. Bogotá, Colombia: Meramágum.

- Movilla, B. J., Gonzalez, A. M., & Marulanda, E. (1986). Necesidades hídricas de dos variedades de frijol *Phaseolus vulgaris* L, en condiciones de Invernadero. *Acta Agronómica*, 36(2), 168-176.
- Mujica, A. (1994). Potencial del lupinu dulce Inti (*Lupinus mutabilis*) en los Andes peruanos. En *VIII Congreso Internacional de Sistemas Agropecuarios Andinos*. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Murray-Kolb, L. E., Wenger, M. J., Soctt, S. P., Rhoten, S. E., Lungaho, M. G., & Hass, J. D. (2017). Consumption of iron-biofortified beans positively affects cognitive performance in 18- to 27-year-old rwandan female college students in an 18-week randomized controlled efficacy trial. *The Journal of Nutrition*, 147(11), 2109-2117.
- Nava, S. (2013). Temperatura óptima y etapa fenológica para determinar la termoeestabilidad de la membrana celular en maíz y frijol. *Revista Internacional de Botánica Experimental*, (82), 249-254.
- Nienhuis, J. & Singh, S. P. (1986). Combining ability analyses and relationships among yield, yield components, and architectural traits in dry bean. *Crop Science*, 26(1), 21-27.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2018). *Nutrición*. Recuperado de www.who.int/nutrition/topics/ida/es/.
- Palacios Morales, M. K. & Urriola Urriola, J. C. (2013). Transferencia de tecnología de aplicaciones de herbicidas a campesinos mediante parcelas demostrativas en frijol, como responsabilidad social universitaria. *Escuela Agrícola Panamericana*. Recuperado de <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/1669/1/CPA-2013-069.pdf>.
- Pérez Velásquez, J. C., Ceballos, H., Ramírez, I. C., Lenis, J. I., Calle, F., Morante, N., Jaramillo, G., & Lentini, M. (2010). Adjustment for missing plants in cassava evaluation trials. *Euphytica*, 172(1), 59-65.
- Pfeiffer, W. & McClafferty, T. (2008). Biofortification breeding micronutrient-dense crops. En M. S. Kang & P. M. Priyadarshan (Eds.), *Breeding Major Food Staples* (pp. 50-88). Nueva York, EE. UU.: John Wiley & Sons.
- Polanía, J. A., Rao, I. M., Beebe, S., & García, R. (2009). Desarrollo y distribución de raíces bajo estrés por sequía en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en un sistema de tubos con suelo. *Agronomía Colombiana*, 27(1), 25-32.
- Pontificia Universidad Católica de Chile. (s. f.). Etapas de desarrollo de la planta de frijol común. *Departamento de Ciencias Vegetales. Facultad de Agronomía*. Recuperado de http://www7.uc.cl/sw_educ/cultivos/legumino/frijol/crecimie.htm.
- Porch, T. G. & Jahn, M. (2001). Effects of high-temperature stress on microsporogenesis in heat-sensitive and heat-tolerant genotypes of *Phaseolus vulgaris*. *Plant, Cell Environ*, 24(7), 723-731.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (2012). *Informe Anual 2011/2012. El futuro sostenible que queremos*. Recuperado de https://www.undp.org/content/dam/undp/library/corporate/UNDP-in-action/2012/Spanish/undpAR_2012-06-21_v3_SPANISH-final.pdf.

- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2015). *Objetivos de desarrollo del milenio. Informe*. Bogotá, Colombia: Nuevas Ediciones S.A.
- Ríos Betancourt, M. J. & Quirós Dávila, J. (2002). *El frijol (Phaseolus vulgaris L.): cultivo, beneficio y variedades*. Bogotá, Colombia: Editorial Produmedios.
- Ríos Betancour, M., Quirós Dávila, J., & Arias, J. (2003). *Frijol arbustivo: recomendaciones de cultivo*. Rionegro, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Román Vélez, A. de J., & Arias Restrepo, J. H. (1995). *Tecnología para la producción de frijol arbustivo en las zonas de clima medio del departamento de Antioquia*. Rionegro, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Rosas Sotomayor, J. C. Castro, A., & Flores, E. (2000). Mejoramiento genético del frijol rojo y negro Mesoamericano para Centroamérica y el Caribe. *Agronomía Mesoamericana*, 11(2), 37-46.
- Ruíz Cabarcas, A. del C. & Pabón Caicedo, J. D. (2013). Efecto de los fenómenos de El Niño y La Niña en la precipitación y su impacto en la producción agrícola del departamento del Atlántico (Colombia). *Revista Colombiana de Geografía*, 22(2), 35-54.
- Santos Pereira, H., Cunha Melo, L., Del Peloso, M. J., De Faria, L. C., Cáprio da Costa, J. G., Cabrera Díaz, J. L., ... Wendland, A. (2009). Comparison of methods for phenotypic adaptability and stability analysis in common bean. *Pesquisas. Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44(4), 374-383.
- Sarandón, S. J. & Flores, C. C. (2009). Evaluación de la sustentabilidad en agroecosistemas: una propuesta metodológica. *Agroecología*, 4, 19-28.
- Sexton, P., White, J., & Boote, K. (1994). Yield-Determining Processes in Relation to Cultivar Seed Size of Common Bean. *Crop Science*, 34(1), 84-91.
- Siembra. (2018). *Manejo integrado del cultivo: sostenibilidad de sistemas de producción de frijol determinando condiciones agroecológicas aptas para zonas productoras de frijol en el departamento y desarrollo de estrategias para el manejo integrado del cultivo (zonificación, épocas de siembra, densidades de siembra, sistemas de siembra y sistemas de cosecha)*. Recuperado de <http://www.siembra.gov.co/Demandas/Demanda/Reporte>
- Singh, P. & Voysest, O. (Eds.). (1997). *Taller de mejoramiento de frijol para el siglo XXI: bases para una estrategia para América Latina*. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Smith, H. F. (1936). A discriminant function for plant selection. *Biometrics. Ann Eugen*, 7(2), 240-250.
- Tako, E., Laparra, J. M., Glahn, R. P., Welch R. M., Lei X. G., Beebe S., & Miller, D. (2009). Biofortified black beans in a maize and bean diet provide more bioavailable iron to piglets than standard black beans. *Journal of Nutrition*, 139(2), 305-309.
- Tako, E., Glahn, R., Laparra, J., Welch R. M., Lei X., Kelly J. D., Rutzke M. A., Miller, D. (2009). Iron and zinc bioavailabilities to pigs from red and white beans (*Phaseolus vulgaris* L.) are similar. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(8), 3134-3140.

- Tako, E., Blair, M., & Glahn, R. (2011). Biofortified red mottled beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in a maize and bean diet provide more bioavailable iron than standard red mottled beans: Studies in poultry (*Gallus gallus*) and an in vitro digestion/Caco-2 model. *Nutrition Journal*, 10(1), 113.
- Tamayo, P. (1995). *Manejo y control de las enfermedades del frijol voluble (Phaseolus vulgaris L.)*. Boletín Técnico. Rionegro, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Tamayo, P. J. & Londoño, M. E. (2001). *Manejo integrado de enfermedades y plagas del frijol: Manual de campo para su reconocimiento y control*. Boletín Técnico, N.º 10. Rionegro, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Tamayo, P. J., Aguilar, P. A., & Velásquez, A. (2013). *Modelo tecnológico para el cultivo de frijol voluble (Phaseolus vulgaris L.) en el departamento de Antioquia*. Medellín, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Tamoc, A., Ustum, A., Altinok, A., & Acikgoz, E. (2009). Biomass and seed stability pea genotypes. *Journal of Food, Agricultural Environment*, 7(1), 140-146.
- Tofiño, A., Tofiño, R., & Jiménez, H. (2012). Determinación del potencial productivo y nutricional de un frijol biofortificado mesoamericano en el Cesar, Colombia. *Vitae*, 19(1), 297-299.
- Tofiño-Rivera, A. & Tofiño Rivera, R. (2013). *Contribución de variedades biofortificadas a la seguridad alimentaria*. Saarbrücken, Alemania: Editorial Académica Española.
- Tofiño, A., Melo, A., Ruidiaz, Y., & Lissbrant, S. (2015). Evaluation of the potential dietary impact of the implementation of nutritionally. *Agronomía Colombiana*, 33(3), 383-390.
- Tofiño-Rivera, A. P., Pastrana-Vargas, I. J., Melo-Ríos, A. E., Beebe, S., & Tofiño-Rivera, R. (2016a). Rendimiento, estabilidad fenotípica y contenido de micronutrientes de frijol biofortificado en el Caribe seco colombiano. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 17(3), 309-329.
- Tofiño-Rivera, A. P., Tofiño-Rivera, R., Cabal, D., Melo, A., Camarillo, W., & Pachón, H. (2011). Evaluación sensorial de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) mejorado nutricionalmente en cinco municipios del departamento del Cesar. *Perspectivas en Nutrición Humana*, 13(2), 60-71.
- Tofiño-Rivera, A. P., Velásquez Agudelo, A. D., & Zapata Tamayo, M. A. (2016b). *Indicadores edafológicos del cultivo de frijol en el Caribe seco colombiano: una estrategia in situ*. Bogotá, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Tucuch-Cauch, A., Rodríguez-Herrera, S., Reyes-Valdés, M., Pat-Fernández, J., Tucuch-Cauch, F., & Córdova-Orellana, H. (2011). Índices de selección para producción de maíz forrajero. *Agronomía Mesoamericana*, 22(1), 123-132.
- Van Schoonhoven, A. & Pastor-Corrales, M. A. (1991). *Sistema estándar para la evaluación de germoplasma de frijol*. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).

- Van Schoonhoven, A. & Pastor-Corrales, M. (1987). *Standard system for the evaluation of bean germplasm*. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Vargas, B. (2013). *Manual del cultivo de frejol en Bolivia*. Recuperado de <http://jubovar.blogspot.com/2013/01/manual-de-manejo-del-cultivo-del-frejol.html>.
- Villar Sánchez, B., López Salinas, E., & Acosta-Gallegos, J. (2003). Selección de genotipos de frijol por rendimiento y resistencia al mosaico dorado y suelos ácidos. *Revista Fitotecnia México*, 26(2), 109-114.
- Voysest, O. (2000). *Mejoramiento genético del frijol (Phaseolus vulgaris L.): legado de variedades de América Latina 1930-1999*. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Williams-Alanís, H., Pecina-Quintero, V., Montes-García, N., Palacios-Velarde, O., Arcos-Cavazos, G., & Vidal-Martínez, V. A. (2009). Reacción de variedades de sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench.] para grano a *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 27(2), 148-155. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-330920090002000007&lng=es&tlng=es.
- Zambrano, D. C., Bonilla, R. R., Avellaneda, L., & Zambrano, G. (2015). Análisis prospectivo de los bioinsumos agrícolas en Colombia: una consulta a expertos. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 17(2), 103-113.





Glosario

Anemia ferropénica: los glóbulos rojos son los encargados de transportar el oxígeno hacia todas las células, tejidos y órganos en el cuerpo humano. La anemia es una afectación que ocasiona bajo número de glóbulos rojos sanos. Dentro de los posibles tipos de anemia, la ferropénica consiste en que el cuerpo no posee suficiente hierro para producir glóbulos rojos.

Bioinsumos: producto biológico con ingrediente activo basado en microorganismos o macroorganismos, extractos, aceites esenciales o compuestos bioactivos derivados de estos. Los bioinsumos están dirigidos a la producción agropecuaria, agroalimentaria y agroindustrial.

Fortificación: la fortificación de alimentos se refiere a la adición de micronutrientes a los alimentos procesados. En muchas situaciones, esta estrategia puede conducir a mejoras relativamente rápidas en el estado de micronutrientes de una población. Sin embargo, para que esta estrategia sea efectiva debe entenderse como parte de un enfoque amplio e integral para prevenir la deficiencia de micronutrientes en la población. Existen diferentes técnicas que pueden implementarse de forma simultánea, como fortificación masiva de alimentos, fortificación de alimentos específicos, fortificación casera con nutrientes en polvo y la fortificación biológica de alimentos o biofortificación.

Caldo bordelés: es un protector contra el ataque de hongos en las plantas, compuesto por una mezcla de sulfato cúprico y cal hidratada, inventado por los vinicultores de la región de Burdeos, Francia. Es un producto de amplio espectro de acción que puede utilizarse en la agricultura ecológica. Se puede utilizar como preventivo o curativo.

Cierre del dosel: se refiere al momento cuando se interceptan o tocan las copas de los árboles o el follaje de dos plantas distintas; en ese momento se genera un microclima con sombrero que afecta el desarrollo de las malezas.

Cultivos biofortificados: la biofortificación implica el proceso de producción o incremento de semilla o granos de cultivos alimenticios enriquecidos con micronutrientes (minerales, vitaminas como la A, el zinc y el hierro). Estos cultivos producen naturalmente mayores contenidos de micronutrientes mediante la acumulación de niveles más altos de minerales y vitaminas en sus semillas y raíces, según la especie, mientras completan su ciclo de vida. No obstante, aunque los procesos en el interior del vegetal para acumular los micronutrientes son naturales, una mayor eficiencia en la traslocación y acumulación a los tejidos aprovechables se logra gracias a técnicas de mejoramiento vegetal que se enfocan en alcanzar ese objetivo.

Drench: aplicación de un producto químico o biológico por empapado. En el caso de bioinsumos, implica el uso de bomba espaldera sin filtro para aplicar a chorro controlado sobre el suelo o la planta.

Defoliación: pérdida o caída de las hojas natural o inducida por agroinsumos, fitohormonas u hormonas de las plantas.

Encanastado: tipo de tutorado en el que se recoge el brote de las plantas de cada surco de frijol entre dos cuerdas paralelas para evitar el contacto de las ramas más largas con el suelo. Es una práctica que se realiza cuando el periodo lluvioso coincide con el llenado de vainas y de esta manera se evita la pudrición por contacto con el suelo debido al salpique de la lluvia o el volcamiento ocasionado.

ETo: es la pérdida de agua de un área cultivada estándar sin restricciones hídricas; se considera como un parámetro que expresa las condiciones climáticas del sitio, basado en la capacidad evaporante de la atmósfera. Puede cambiar a través del año.

Entomofauna benéfica: conjunto de artrópodos y moluscos presentes en un agroecosistema o cultivo, cuyas actividades e interacciones con otros organismos no ocasionan o facilitan el ataque a las plantas cultivadas.

132

Fertilidad de suelo: un suelo fértil es aquel que tiene un balance entre las condiciones físicas (porosidad, retención del agua, infiltración del agua, facilidad de penetración de las raíces), las condiciones químicas (contenido de minerales necesarios para la planta, macronutrientes: nitrógeno, fósforo y potasio, calcio y magnesio, y micronutrientes: azufre, boro, manganeso, zinc, cobre, etc.), un pH cerca a la neutralidad y características microbiológicas relacionadas con la diversidad y cantidad de microorganismo y baja presencia de patógenos. Estas características en conjunto permiten que la planta pueda desarrollarse y alcanzar una alta productividad.

Incidencia: indica la frecuencia de una enfermedad en un cultivo agrícola, es decir, el número de plantas enfermas dentro de un lote de cultivo.

Madurez fisiológica: aunque es diferente en cada variedad cultivada, de manera general, el grano ya alcanza su máximo. En este estado se detiene su crecimiento y el grano logra su máximo contenido de materia seca, su mayor vigor y capacidad de germinación. Además, la testa o cáscara adquiere su color definitivo, y su contenido de agua está entre 30 y 45 %. El embrión está totalmente maduro, pero en un estado de latencia.

Poi: es una preparación tradicional wayúu a base de maíz, frijol, cebo de carnero o res y sal, utilizada como fiambre para jornadas de trabajo largas.

Partes por millón (ppm): es una unidad de concentración; por ejemplo, si una semilla de frijol se divide en un millón de partes y una de esas partes se pinta de rojo, la concentración de esa partícula roja es de una parte por millón en una semilla de frijol. En el caso de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 el cálculo de la concentración de hierro se realizó sobre el contenido de hierro en un millón de partes del total de minerales.

Pruebas de evaluación agronómica (PEA): hacen parte de los requerimientos establecidos en la normativa colombiana para la liberación de variedades vegetales mejoradas, que son supervisadas por el ICA para el registro en el libro de cultivares nacionales. Es un procedimiento experimental hecho por el solicitante, mediante el cual varios genotipos se siembran en diferentes localidades en una misma subregión natural para determinar el grado de adaptación de cada uno de ellos, respecto a los genotipos comerciales usados como testigos, utilizando un diseño experimental con repeticiones (Resolución 3168 de septiembre de 2015).

Nutrientes extraídos/kg de grano producido: lo ideal es que el cálculo de esos valores lo haga un ingeniero agrónomo, de lo contrario el productor debe leer la etiqueta del productor para conocer cuál es la concentración del nutriente y poder calcular la cantidad de producto que debe agregar al suelo por ha para reponer los nutrientes que el frijol gasta en su proceso de desarrollo.

Promesa de valor: en el caso de variedades mejoradas, se asocia al conjunto de rasgos que diferencian la variedad de los otros cultivares disponibles en la zona y que le confieren ventajas comparativas a nivel productivo, ambiental o comercial.

133

Suelos ácidos: la acidez del suelo se mide en una escala de 1 a 14 en unidades de pH (potencial de hidrogeno), siendo 7 un suelo neutro. El pH determina cuáles minerales están disponibles en la solución del suelo que absorben las raíces de la planta. En condiciones cercanas a la neutralidad, los minerales esenciales están disponibles en la solución del suelo, pero cuando el pH es muy bajo el fósforo no está disponible, el aluminio y el manganeso pueden volverse tóxicos por exceso para las plantas. Con un pH alcalino es posible que se presente deficiencia de boro, cobre y zinc.

Microorganismos benéficos: los microorganismos, a pesar de que no son visibles al ojo humano, desempeñan funciones fundamentales para el mantenimiento de la calidad del suelo, la salud del vegetal y la disponibilidad de agua y nutrientes. Esto es importante en el Caribe seco, donde hay baja disponibilidad hídrica y bajo contenido de materia orgánica; por tanto, las condiciones microbiológicas pueden marcar la diferencia en términos de sanidad y productividad.

Variabilidad climática: el cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial se denomina *cambio climático* y la variabilidad climática es una medida en la que se analiza el comportamiento del clima en un periodo determinado y en una región específica.

Impresión y encuadernación:
Fundación Cultural Javeriana de Artes Gráficas (JAVEGRAF)

Terminó de imprimirse
Septiembre de 2019 Bogotá, DC, Colombia

Esta obra presenta toda la información relacionada con el desarrollo de la variedad de frijol biofortificado Corpoica Rojo 39, la cual surge como parte de la alineación del Plan Estratégico 2018-2028 de AGROSAVIA con varias iniciativas institucionales, entre ellas, las del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Agroindustrial (SNCTA) y la plataforma Siembra. Además, constituye un resultado de la articulación con otros actores del SNCTA y a partir del trabajo en red con Stephen Beebe, líder del programa de fitomejoramiento de frijol del CIAT. Más allá de un avance puramente científico producto del fitomejoramiento orientado a resolver las deficiencias nutricionales de los sectores más afectados por esta problemática en el Caribe, este documento también representa el resultado de una inversión social, dado que para el desarrollo de esta variedad se tuvo siempre presente la noción de territorio: las condiciones de producción de los grupos humanos asentados en estas zonas, su cadena de suministro, el agroecosistema, sus hábitos de consumo de alimentos, la estabilidad de los precios y el acceso a crédito, entre otros.

Dentro de la caracterización varietal de este producto se destacan su alta adaptación a zonas áridas y afectadas por variabilidad climática, su calidad nutricional y culinaria, su mayor tolerancia a plagas y enfermedades, sus costos viables de producción y sus cualidades agroindustriales. A todo ello se suma una propuesta de sistema productivo sostenible y acorde con las necesidades de cuidado del ambiente para una ecorregión vulnerable a la degradación por la acción antrópica como lo es el Caribe seco colombiano. Esta obra incluye, en efecto, recomendaciones de manejo para mantener la productividad de la nueva variedad y favorecer el incremento de áreas de siembra sin detrimento de los recursos productivos.



BIBLIOTECA AGROPECUARIA DE COLOMBIA

CORREO: bac@agrosavia.co

TELÉFONO: (57 1) 422 73 00 EXT. 1257 o 1274

SKYPE: [biblioteca.agropecuaria](https://www.skype.com/join/biblioteca.agropecuaria)

www.agrosavia.co

Distribución gratuita
Prohibida su venta



**El campo
es de todos**

Minagricultura