

Modelo productivo

de **frijol** para el Caribe seco colombiano

Colección Transformación del Agro



El campo
es de todos

Minagricultura

Modelo productivo de frijol para el Caribe seco colombiano

Autores:

Yanine Rozo Leguizamón
Adriana Patricia Tofiño Rivera
Douglas Andrés Gómez Latorre
Luis Fernando Gómez Ramírez
Pablo Julián Tamayo Molano

Mosquera, Colombia 2018

Rozo Leguizamón, Yanine

Modelo productivo de frijol para el Caribe seco colombiano / Yanine Rozo Leguizamón [y otros cuatro]
-- Mosquera, (Colombia) : AGROSAVIA, 2018.

194 páginas (Colección Transformación del agro)

Incluye referencias bibliográficas, tablas, ilustraciones y fotos

ISBN e-Book: 978-958-740-264-3

1. Fríjol 2. *Phaseolus vulgaris* 3. Investigación de mercados 4. Entorno socioeconómico 5. Clima árido 6. Agricultura familiar 7. Recursos genéticos vegetales I. Tofiño Rivera, Adriana Patricia II. Gómez Latorre, Douglas Andrés III. Gómez Ramírez, Luis Fernando IV. Tamayo Molano, Pablo Julián

Palabras clave normalizadas según Tesauro Multilingüe de Agricultura Agrovoc

Catalogación en la publicación – Biblioteca Agropecuaria de Colombia

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA)

Centro de Investigación Motilonia. Km 5 vía a Becerril, Agustín Codazzi, Cesar. Código postal 202050, Colombia.

Esta publicación es el resultado del proyecto de Corpoica "Obtención de variedades comerciales y de mercado campesino de frijol tolerante a alta temperatura bajo sistemas productivos sostenibles en el Caribe colombiano" realizado por Corpoica con el auspicio de Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural con el convenio 1828 de abril de 2014.

Fecha de recepción: 9 de mayo de 2018

Fecha de evaluación: 16 de mayo de 2018

Fecha de aceptación: 12 de septiembre de 2018

Colección Transformación del agro

Publicado en Mosquera, Colombia, diciembre de 2018

Preparación editorial

Editorial AGROSAVIA

editorial@agrosavia.co

Editora: Liliana Gaona García

Corrección de estilo: Paola González Osorio

Línea de atención al cliente: 018000121515

atencionalcliente@agrosavia.co

www.agrosavia.co

Citación sugerida: Rozo-Leguizamón, Y., Tofiño-Rivera, A. P., Gómez-Latorre, D. A., Gómez-Ramírez, L. F., & Tamayo-Molano, P. J. (2018). *Modelo productivo de frijol para el Caribe seco colombiano*. Mosquera, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Cláusula de responsabilidad: AGROSAVIA no es responsable de las opiniones e 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, declarando 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.



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

Contenido

Introducción y justificación	11
Aproximación a la construcción de un modelo de frijol para el Caribe seco ...	14
Definición de los núcleos productivos de frijol	16
Aplicación de talleres de consenso	17
Descripción del sistema productivo a partir de evaluaciones in situ en lotes de frijol ...	18
Identificación de los tipos comerciales de frijol consumidos en la subregión	18
Identificación de indicadores de transformación de frijol	18
Identificación de zonas de aptitud para el cultivo del frijol en la subregión	19
Capítulo I	
Área geográfica y entorno ambiental	20
Distribución del cultivo global, nacional y departamental.....	20
Aspectos geográficos generales de la región Caribe colombiana.....	26
Delimitación de la región Caribe	26
Caribe seco	28
Aspectos climáticos del Caribe seco para el cultivo de frijol	31
Aproximación: determinación de zonas más aptas para el cultivo de frijol....	32
Capítulo II	
Entorno social, enfoque étnico y agricultura familiar	46
Caracterización de las condiciones de producción de frijol en el Caribe seco.....	46
Socioeconómicas.....	47
Entorno social.....	57
Producción de frijol con enfoque étnico	59
Etnias y agricultura familiar.....	60
Innovación tecnológica del cultivo de frijol para las etnias del Caribe seco ...	61
Sistema de agricultura familiar y étnico, con arreglo multiestrato: cultivo principal, frijol	67
Capítulo III	
Origen, taxonomía, clasificación, descripción botánica y fenología.....	72
Origen del frijol	72
Taxonomía y clasificación.....	73

Descripción botánica	74
Sistema radical	74
Tallo.....	76
Hábitos de crecimiento.....	77
Ramas	83
Hojas	83
Inflorescencia	84
Flor	84
Fruto	85
Semilla	86

Capítulo IV

Recurso genético, variedades y valor nutricional87

Acervos genéticos	87
Variedades mejoradas de frijol para el Caribe seco colombiano	88
Tipos comerciales de frijol en el Caribe seco	89
Frijol radical (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	90
Frijol nima, calima, moteado (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	91
Frijol caraota (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.).....	91
Frijol zaragoza (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.).....	92
Frijol caupí blanquillo (<i>Vigna unguiculata</i>)	93
Frijol caupí (<i>Vigna unguiculata</i>)	93
Frijol mungo (<i>Vigna radiata</i>)	95
Valor nutricional.....	95
Calidad nutricional.....	95
Contenido nutricional del frijol.....	96

Capítulo V

Tecnología local de producción y recomendaciones de manejo 100

Técnico productivas y recomendaciones técnicas de manejo	100
Suelos, análisis y preparación del terreno	100
Semilla: origen y criterio de selección	108
Siembra: épocas y sistemas	110
Fertilización	112
Riego: fuentes hídricas y tipo de riego.....	116
Malezas	120

Plagas	126
Enfermedades	132
Asistencia técnica.....	144

Capítulo VI

Cosecha, poscosecha,	146
comercialización y autoconsumo	146

Cosecha	146
Poscosecha.....	147

Capítulo VII

Agroindustria	152
----------------------------	------------

Transformación y valor agregado	152
---------------------------------------	-----

Capítulo VIII

Costos de producción.....	156
----------------------------------	------------

Capítulo IX

Consideraciones finales y recomendaciones.....	158
---	------------

Los autores	163
--------------------------	------------

Referencias	165
--------------------------	------------

Glosario.....	185
----------------------	------------

Lista de figuras

Figura 1	Producción mundial de frijol y variación porcentual anual 2000-2010 ...	20
Figura 2	Rendimientos de la producción de frijol de los principales países productores 2000-2010 en t/ha	21
Figura 3	Principales exportadores de frijol en el mundo 2000-2009	22
Figura 4	Regiones Naturales de Colombia	27
Figura 5	Área delimitada para las regiones Caribe y Caribe seco.....	28
Figura 6	Clasificación de la precipitación en ciclo de cultivo (abril-junio), periodo climatológicamente más seco, según aptitud para el cultivo de frijol	35
Figura 7	Clasificación de la temperatura media multianual según aptitud para el cultivo de frijol	38
Figura 8	Clasificación de la humedad relativa media multianual según aptitud para el cultivo de frijol	39
Figura 9	Clasificación de la elevación según aptitud para el cultivo de frijol ..	41
Figura 10	Clasificación del pH para la región Caribe según aptitud para el cultivo de frijol	42
Figura 11	Mapa de áreas aptas para el cultivo de frijol	44
Figura 12	Taller por consenso con productores de frijol del municipio de Manaure Cesar	47
Figura 13	Tipo de tenencia de la tierra	48
Figura 14	Años de experiencia en la producción del frijol	48
Figura 15	Área total de la finca	49
Figura 16	Área del predio sembrada en hortalizas.....	50
Figura 17	Razones por las que no se siembra más frijol.....	50
Figura 18	Topografía de predios en los que produce frijol.....	51
Figura 19	Tipo de vía de acceso al predio	52
Figura 20	Estado de la vía de acceso a los predios	52
Figura 21	Accesos a servicios públicos.....	53
Figura 22	Tipo de mano de obra más usada	54
Figura 23	Remuneración de la mano de obra familiar	54
Figura 24	Rangos de edad de la mano de obra familiar.....	55
Figura 25	¿Tienen acceso al crédito agropecuario?	56
Figura 26	Entidad que ha hecho el crédito	56
Figura 27	Razones por las que no ha tenido acceso o no ha solicitado crédito	57

Figura 28	Cultivos de hortalizas predominantes en territorios de pueblos indígenas	60
Figura 29	Etnias asentadas en la Sierra Nevada de Santa Marta.....	62
Figura 30	Etnia wiwa en San Juan del Cesar (La Guajira), en gira por San Juan del Cesar al CI Motilonia	65
Figura 31	Esquema multiestrato de frijol, basado en las especies de tradición productiva de la agricultura familiar, establecido en el CI Motilonia, Codazzi, AGROSAVIA. Especies involucradas: batata, guineo, leucaena, ñame, yuca, sorgo, frijol caupí, frijol silvestre voluble, zapallo, pepino blanco, limoncillo, menta, cilantro, cebollín y frijol arbustivo en la zona central del lote	69
Figura 32	Arreglo multiestrato basado en frijol	71
Figura 33	Taxonomía del frijol común	74
Figura 34	Radícula del embrión de frijol.....	75
Figura 35	Asociación raíz de frijol común- <i>Rhizobium</i>	76
Figura 36	Tallo de planta de frijol <i>Phaseolus vulgaris</i> L.	77
Figura 37	Hábito de crecimiento determinado arbustivo.....	78
Figura 38	Hábito de crecimiento indeterminado arbustivo	78
Figura 39	Hábito de crecimiento indeterminado postrado.	79
Figura 40	Hábito de crecimiento indeterminado trepador	80
Figura 41	Ciclo fenológico de la variedad de frijol Corpoica Rojo-39, en el Caribe seco colombiano	82
Figura 42	Formación de ramas.....	83
Figura 43	Hojas. Complejo axilar.....	84
Figura 44	Flor papilionácea de frijol <i>Phaseolus vulgaris</i> L.	85
Figura 45	Morfología de vainas en frijol.....	85
Figura 46	Maduración de vainas y grano en frijol	86
Figura 47	Foto semilla variedad de frijol biofortificado Corpoica rojo 43, que corresponde al tipo comercial radical	90
Figura 48	Frijol carita o caraota en plaza de mercado	92
Figura 49	Frijol rosado o zaragoza en plaza de mercado	92
Figura 50	Frijol blanquillo en plaza de mercado	93
Figura 51	Frijol cabecita negra en plaza de mercado	94
Figura 52	Uso del análisis de suelos.....	101
Figura 53	Diagrama de Trough, influencia del PH sobre la disponibilidad de nutrientes	102
Figura 54	Método para terminación de textura	104

Figura 55	Porosidad del lote en campo	105
Figura 56	Tipos de recorrido para toma de muestras de suelo	107
Figura 57	Tipo de preparación para la siembra	107
Figura 58	Origen de la semilla utilizada	108
Figura 59	Criterio utilizado para la selección de la semilla a sembrar.	109
Figura 60	Semilla de frijol.....	110
Figura 61	Sistemas de siembra referidos por productores en el Caribe seco ...	112
Figura 62	Fertilizantes utilizados	112
Figura 63	Origen del agua para riego del frijol en el Caribe seco	117
Figura 64	Tipo de riego utilizado	118
Figura 65	Criterio utilizado para tomar decisión de riego.....	119
Figura 66	Control de arvenses en el Caribe seco.....	123
Figura 67	Cucarroncitos o diabroticas.....	127
Figura 68	Mosca blanca (<i>Bemisia tabaci</i>).	127
Figura 69	Chiza o mojoyoy.....	128
Figura 70	Daños causados por minador	129
Figura 71	Babosas en cultivo de frijol en Pueblo Bello, Cesar.	130
Figura 72	Gusano medidor en cultivo de frijol en Manaure, Cesar.....	130
Figura 73	Gorgojo del grano en Codazzi, Cesar.....	131
Figura 74	Mustia hilachosa en cultivo de frijol en Caribe seco	133
Figura 75	Vaina afectada por antracnosis en Manaure, Cesar.....	134
Figura 76	Raíz de frijol arbustivo afectada por <i>Fusarium</i> , Caribe seco.	135
Figura 77	Micelio fúngico y colonias bacterianas	136
Figura 78	<i>Macrophomina phaseolina</i> aislado a partir de semillas de frijol.....	136
Figura 79	<i>Fusarium</i> sp. aislado a partir de semillas de frijol.....	137
Figura 80	<i>Rhizoctonia</i> sp. aislado a partir de semillas de frijol.....	137
Figura 81	<i>Colletotrichum</i> sp. aislado a partir de semillas de frijol	138
Figura 82	Entidad que brinda asistencia técnica.....	145
Figura 83	Cosecha de frijol	147
Figura 84	Desgranadora de frijol en la parcela.....	148
Figura 85	Transporte utilizado para sacar frijol al mercado.....	150
Figura 86	Lugar de venta	151
Figura 87	Porcentaje de cosecha para autoconsumo.....	151

Lista de tablas

Tabla 1	Área sembrada y cosechada del cultivo de frijol, en el año 2014, en los siete departamentos del Caribe.....	25
Tabla 2	Producción y rendimiento del cultivo de frijol, en el año 2014 en ha, en los siete departamentos del Caribe	25
Tabla 3	Resultados de los análisis de suelo de zonas productoras de frijol en Cesar, Colombia 2016	30
Tabla 4	Calificación de aptitud y rangos por variable para frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	32
Tabla 5	Valores nutricionales del frijol bola roja (500 g) Granos San Pedro	97
Tabla 6	Valores nutricionales del frijol cargamanto rojo (500 g) Granos San Pedro	97
Tabla 7	Extracción de minerales por la planta de frijol	114
Tabla 8	Dosis de fertilización	115
Tabla 9	Principales malezas referidas por los productores y encontradas en campo.....	121
Tabla 10	Arvenses identificadas en campo presiembra de frijol, en el Caribe seco	123
Tabla 11	Recuento de poblaciones microbianas y géneros identificados en suelo, por cada tratamiento de aplicación de glifosato en el cultivo de frijol ..	125
Tabla 12	Costos de producción de una hectárea de frijol en el Caribe seco ...	156

Introducción y justificación

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es originario de las tierras altas de América central y los Andes. Está adaptado a temperaturas moderadas como las observadas en la zona andina, donde se concentra la productividad de la especie en Colombia. Su extensión de siembra es limitada en las zonas cálidas, como las observadas en el Caribe colombiano, región en la que se circunscribe exclusivamente a las áreas montañosas y en la que se produce el 13 % del volumen cosechado del país (Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas [Fenalce], 2010).

Se ha referido, el efecto de la alta temperatura sobre diferentes estados fenológicos del frijol, inclusive desde la germinación (Balasubramanian, Vandenberg, & Hucl, 2004). Las altas temperaturas durante la floración causan estrés fisiológico en el frijol y ocasionan abscisión excesiva de los órganos reproductivos, lo cual repercute en el rendimiento. Los efectos del estrés por calor son mayores durante la fase reproductiva que durante la fase vegetativa en muchos cultivos, entre ellos el 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* L. presenta diversidad en la tolerancia al estrés por calor, lo que puede utilizarse en programas de mejoramiento genético para zonas cálidas (Acosta-Gallegos et al., 2012; Barrios-Gómez, López-Castañada, & Kohashi-Shibata, 2011).

Los climas más calurosos y los cambios en los patrones de precipitación alterarán los nichos ecológicos de muchos cultivos, entre ellos el frijol, y requerirán que los sistemas agrícolas se ajusten a los cambios estacionales (Lau, Jarvis, & Ramírez, 2011). En los planes de desarrollo de los departamentos del Caribe aparece registrada esta línea de investigación, para productos de la canasta básica (Banco Interamericano de Desarrollo [BID] & Gobernación del Atlántico, 2011). La problemática de la producción de hortalizas y frijol en el Caribe seco está relacionada con el mejoramiento de la disponibilidad de alimentos de alta calidad nutricional (Del Castillo, Fonseca, Mantilla, & Mendieta, 2012) y la carencia de modelos productivos hortícolas acordes con las particularidades de

la ecorregión. Actualmente la producción agrícola se enfrenta a diversos problemas entre los que destaca 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, resultante de diversos factores, como las variaciones climáticas y las actividades humanas (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial [Minambiente], 2007).

La reducción en la productividad del cultivo de frijol en la región Caribe está asociada con la presión alta de limitantes bióticos y abióticos que incluyen alta densidad de arvenses en las zonas de cultivo, carencia de riego de acuerdo con los requerimientos hídricos específicos de cada variedad, baja fertilidad del suelo, así como manejo inadecuado en la cosecha y poscosecha (Arias, Renjifo, & Jaramillo, 2007). En este sentido, la optimización de los componentes del sistema productivo del frijol permitiría un adecuado una adecuada articulación de las nuevas variedades registradas por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) para esta subregión, en el esquema de desarrollo económico local (Márquez, Córdova, Castejón, & Higuera, 2003). Sin embargo, otro elemento crítico es la carencia de sistemas regionales de producción de semilla de frijol de alta calidad. A ello se suma, debido a un manejo inapropiado del sistema productivo, la transmisión de enfermedades desde la planta al grano, lo cual constituye uno de los principales problemas sanitarios en el frijol. Como en la región no se tienen definidos sistemas de producción local de semilla de alta calidad y los productores toman parte de su cosecha para semilla en el siguiente ciclo, la misma semilla porta el inóculo de fitopatógenos habitantes del suelo como *Fusarium*, *Sclerotium*, *Macrophomina* y *Rhizoctonia*, los cuales producen daños a la raíz y a la base del tallo; además, también se encuentran los causantes de enfermedades foliares como antracnosis, mancha angular y el virus del mosaico, común del frijol, que se transmite tanto por semilla como por áfidos (Gallego, Ligarreto, Garzón, Oliveros, & Rincón, 2010; Tamayo & Londoño, 2001).

El *Modelo productivo de frijol para la región Caribe colombiana* constituye un nuevo aporte científico y tecnológico de los investigadores de la Red de Hortalizas y Plantas Aromáticas de Corpoica. En dicho documento se recopilan los resultados más importantes obtenidos en los proyectos de Agenda Interna

titulados "Obtención de variedades comerciales y de mercado campesino de frijol tolerante a alta temperatura bajo sistemas productivos sostenibles en el Caribe colombiano" (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), 2018b) y "Análisis socioeconómico, tecnológico y de mercado de las principales hortalizas cultivadas en la región Caribe de Colombia" (AGROSAVIA, 2018a; se registran especialmente aspectos relacionados con características socioeconómicas y tecnológicas de los productores, y algunas prácticas agronómicas del cultivo (densidades de siembra, riego y nutrición). Por ello, el presente documento pretende orientar, describir e ilustrar a los productores y asistentes técnicos, sobre los aspectos técnicos y agronómicos más importantes del cultivo de frijol en la región Caribe.

Aproximación a la construcción de un modelo de frijol para el Caribe seco

Atendiendo al hecho que los modelos productivos presentan una alta especificidad frente a la zona agroecológica, se desarrollaron dos modelos productivos: uno para el Caribe seco y otro para el Caribe húmedo. Para el desarrollo de los ítems indicados se realizó una revisión sistemática (recolección de información primaria en las zonas de producción) y una revisión secundaria en literatura gris de las entidades del sector enclavadas en las regiones; se identificaron además los focos productivos de frijol en la región para el desarrollo de encuestas y entrevistas semiestructuradas, las cuales permitieron la definición de la tecnología local de producción, que se comparó con el modelo productivo propuesto por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Además, se detallaron las variedades de frijol disponibles en los mercados de la región y en los campos de producción, información necesaria para la generación de cada uno de los modelos productivos aplicables al cultivo de frijol en las subregiones Caribe seco y Caribe húmedo.

En general, diversas instituciones gubernamentales y académicas definen los modelos productivos como el conjunto de prácticas y tecnologías utilizadas en la producción de un cultivo. Para AGROSAVIA, el documento denominado *modelo productivo* se constituye como “caja de herramientas”, la cual ofrece suficiente información relevante que el asistente técnico (AT) necesita para guiar al productor desde que este inicia hasta que termina la actividad productiva, así como para tomar decisiones de manejo en su cultivo en cada ecorregión específica. Estos modelos productivos o paquetes tecnológicos son documentos desarrollados con base en tecnologías sustentables, acordes con cada situación ambiental y social, en distintas cadenas productivas que muestran el conjunto de tecnologías adaptadas a las condiciones de un sistema y que, con su aplicación, mejoran sustantivamente la productividad y competitividad en una región específica. Los modelos productivos se visualizan en el componente de Gestión de la Innovación del Portal Siembra, y tienen como fin presentar información de forma clara y concreta sobre cada uno de los factores

relacionados directamente con el sistema productivo en condiciones específicas (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [Corpoica], 2015).

Para obtener la información que integra el presente documento se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- Revisión sistemática. Se adaptó la metodología de acuerdo con el protocolo prisma (Shamseer et al., 2015). Tipo de estudio: revisión sistemática de la literatura científica.
- Protocolo de investigación. Se realizó una búsqueda de literatura científica (en las bases de datos EBSCO, Embase, ScienceDirect, SciELO y Lilacs sin restricción, por fecha: el día 22 de marzo del año 2016; se utilizó una ecuación de búsqueda definida con el nombre científico de la planta (*Phaseolus vulgaris* L.) para evitar ambigüedades, debido a que bajo el nombre genérico de frijol se agrupan diversas especies de la familia de las leguminosas, y así garantizar exhaustividad.

Se definieron los siguientes criterios de selección:

- Criterios de inclusión
 - Título/resumen que informe el género y la especie de la planta *P. vulgaris*
 - Artículos originales
 - Título/resumen que informe resultados exitosos del manejo integrado del cultivo en el trópico bajo
 - Estudios publicados en español, inglés o portugués.
- Criterios de exclusión: artículos no disponibles en texto completo.
- Extracción de información: los artículos recuperados fueron exportados al programa Zotero y se les realizó eliminación de duplicados. La aplicación del protocolo de investigación se llevó a cabo por dos investigadores, quienes trabajaron de forma independiente para garantizar la reproducibilidad de la revisión; debido a que no se presentaron discrepancias, no fue necesario realizar resolución de estas por consenso ni con referencia de un tercero.
- Se realizó la extracción de la información de cada artículo en una base de datos en el programa *Microsoft Office Excel versión 2013* mediante las siguientes variables: año, país, autor, título, revista de publicación, ingrediente activo, bioinsumo utilizado, microorganismo que fundamenta la actividad controladora, método de evaluación, microorganismo evaluado y resultado obtenido.

- Evaluación de la calidad metodológica: no se aplicó esta evaluación debido a la heterogeneidad de métodos, microorganismos y su diversidad biológica (hongo, virus, parásitos, bacterias), además de la pluralidad de la metodología de evaluación de blancos o la actividad antimicrobiana.
- Análisis de datos obtenidos: la información obtenida de los estudios seleccionados se almacenó en una base de datos en el programa *Microsoft Office Excel 2013*. Se realizó una síntesis cualitativa de los resultados con los datos generados en los estudios incluidos. Se aplicó un análisis descriptivo incluyendo distribución de frecuencias en porcentaje y su intervalo de confianza (IC) al 95 %.

Después de la depuración de la información se obtuvieron 288 registros y a partir de esta matriz se seleccionaron los documentos que fundamentan el soporte teórico del modelo.

Definición de los núcleos productivos de frijol

La estructuración del Modelo productivo de frijol requirió la recolección de información primaria en lotes cultivados con frijol, así como entrevistas semiestructuradas con productores de experiencia comprobada en el cultivo, mercados y centrales de abasto. Dado que esta información no podía tomarse en todos los municipios que componen los cuatro departamentos de la subregión, se aplicó una metodología de priorización para la identificación de núcleos productivos de frijol común. Para ello se solicitó al Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) acceso a los microdatos del censo nacional agropecuario 2014, los cuales se exportaron a Excel y se filtraron por Unidad Productiva Agropecuaria (UPA) de frijol, a partir de lo cual se obtuvo el número de UPA por municipio, para los cuatro departamentos que componen el Caribe seco. Posteriormente, se determinó cuáles eran los municipios con mayor área de frijol establecida en cada departamento y se identificaron los cuatro más importantes; a partir de esto, se procedió a contactar a las Unidades Municipales de Asistencia Técnica Agropecuaria (UMATA), priorizando del listado —en cada departamento— a los municipios con UMATA funcional. Lo anterior se realizó

porque debía contarse con información precisa sobre la ubicación de fincas y productores con vocación productiva del frijol.

Finalmente, se priorizaron los siguientes municipios:

- Cesar: Valledupar, Manaure, la Paz
- Guajira: Fonseca, Urumita, El Molino
- Magdalena: Aracataca, Santa Marta, Ciénaga
- Atlántico: Baranoa, Repelón, Sabana Grande

La información primaria recopilada para la elaboración de modelos de frijol se obtuvo en los municipios priorizados.

Aplicación de talleres de consenso

En cada municipio priorizado, con el apoyo de la UMATA, se realizó una convocatoria a los productores con experiencia comprobada en frijol, con el objetivo de realizar talleres de consenso sobre la tecnología local de producción y aspectos socioeconómicos inherentes al cultivo.

Corpoica ha usado exitosamente la herramienta tecnológica Turning Point®,¹ la cual ha sido utilizada en diferentes espacios como una herramienta de TIC que permite la evaluación de conocimientos previos y estilos de aprendizaje de una manera interactiva (Páez, 2015), intervención en espacios socio-rurales, y con la cual se optimiza el tiempo, los recursos disponibles y se facilita la retroalimentación por parte de los productores y demás asistentes. El análisis de la información se realizó exportando la información a Excel y aplicando estadística descriptiva.

¹ TurningPoint® es una marca comercial de Turning Technologies® (Turning Technologies®, 2015), registrada en Estados Unidos, siendo este uno de los productos más populares de la compañía. Este tipo de tecnología de votación se ha reconocido a través del uso por parte de la audiencia en el concurso televisivo '¿Quién quiere ser millonario?' y puede ser usado en computadores PC o Mac. Son varias las funcionalidades que ofrece este software y es un potencial didáctico en el aula de clase. El proceso consiste básicamente en tres etapas que se pueden resumir como sigue: a) Diseño de la actividad; b) Ejecución de la presentación interactiva y c) Generación de informes (Páez, 2015; Turning Technologies, 2013).

Descripción del sistema productivo a partir de evaluaciones *in situ* en lotes de frijol

A partir de los talleres de consenso, se identificaron productores con cultivo de frijol en diferentes estados fenológicos, y se realizaron visitas técnicas a los lotes de frijol con el fin de verificar en campo lo descrito en los talleres, identificar las plagas y las enfermedades presentes. Adicionalmente, se realizaron entrevistas semiestructuradas en formato de video, con el objetivo de documentar el proceso y enriquecer la información. Se tomaron, además, muestras de suelo para análisis fisicoquímico, microbiológico, y muestras de semillas para análisis microbiológico.

Identificación de los tipos comerciales de frijol consumidos en la subregión

Se realizaron visitas a las plazas de mercado de las capitales de los cuatro departamentos y se verificaron los tipos comerciales de frijol que se ofertan, al igual que sus precios. También se realizaron visitas a almacenes de cadena y se verificaron los tipos ofertados, al igual que los precios.

Identificación de indicadores de transformación de frijol

Respecto a este aspecto se consultó con los jefes de UMATA, de los municipios priorizados, si existía alguna asociación o empresa que beneficiara y empacara granos de frijol. Adicionalmente, se verificó en los almacenes de cadena las presentaciones de frijol transformado, y en el caso de frijol empacado se verificó la ubicación de la empresa empacadora.

Identificación de zonas de aptitud para el cultivo del frijol en la subregión

La aproximación consideró variables climáticas, biofísicas y territoriales que mayor limitación tienen para el establecimiento del cultivo de frijol. A partir de información secundaria y las consultas con expertos, se definieron umbrales de aptitud por cada variable, calificando de la siguiente manera: 3, a los rangos con aptitud alta; 2, con media; 1, con baja, y 0 no apta o sin aptitud. A continuación, se integraron las variables a través de un proceso de álgebra de mapas, basado en un cálculo aritmético sencillo, a partir de una sumatoria de la aptitud por variable sobre el número de variables utilizadas. El resultado obtenido es la aproximación que definen las zonas de aptitud para el cultivo del frijol en el Caribe seco.

Capítulo I

Área geográfica y entorno ambiental

Distribución del cultivo global, nacional y departamental

El frijol común se considera la segunda fuente de proteína en África oriental y del sur, y la cuarta en América tropical. Es una de las leguminosas de mayor consumo, distribución y producción mundial (Broughton, et al., 2003), la cual genera 23,2 millones de toneladas anuales (Secretaría de Economía, 2012) (figura 1).

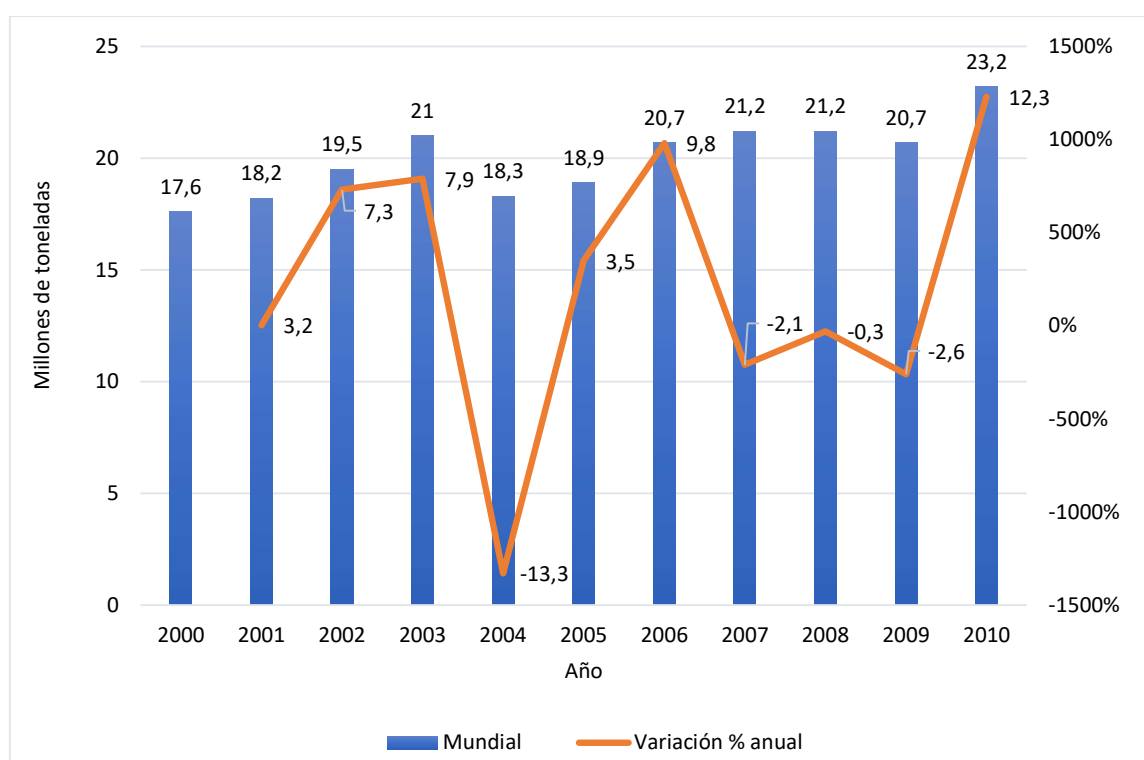


Figura 1. Producción mundial de frijol y variación porcentual anual 2000-2010.
Fuente: Secretaría de Economía (2012)

A nivel global, el grano de frijol producido ascendió en 2013 a 23.139.000 t, destacándose el país asiático Myanmar como primer productor con 3.800.000 t; seguido de India, también en Asia, con 3.630.000 t; en Suramérica, Brasil con 2.936.444 t; posteriormente el país más grande de Asia, China, con 1.410.000 t, y en Norteamérica, Estados Unidos con 1.110.668 t. Como se observa, a pesar de que el frijol es originario de América, los principales productores actuales están ubicados en el continente asiático (Cámara de Comercio de Bogotá [CCB], s.f.) (figura 2).

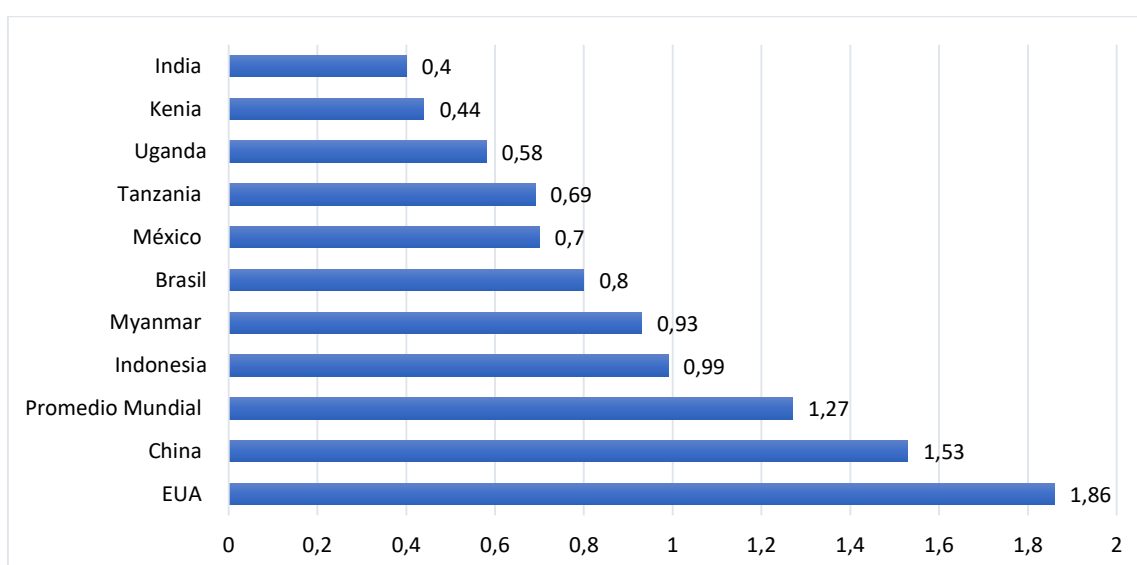


Figura 2. Rendimientos de la producción de frijol de los principales países productores 2000-2010 en t/ha.

Fuente: Secretaría de Economía (2012)

En el periodo comprendido entre 2000-2009, el rendimiento de la producción promedio anual de frijol fue de 1,27 t/ha, siendo tan solo China y Estados Unidos los países más productores, que obtuvieron un rendimiento superior, 1,53 t/ha y 1,86 t/ha, respectivamente; los demás países productores tienen un rendimiento inferior al promedio mensual: Indonesia, 0,99; Myanmar, 0,93, y Brasil, 0,80 t/ha (Secretaría de Economía, 2012) (figura 2).

Por otro lado, el frijol producido principalmente en Asia y en menor medida en América, se importa especialmente por Europa y Estados Unidos. Durante el año

2012 el mayor importador fue el Reino Unido (137.000 t), seguido de Francia con 113.000 t, Estados Unidos con 96.500, España con 96.400 y los Países Bajos con 95.200. Es de especial relevancia la dinámica comercial de Estados Unidos, pues a pesar de hacer parte del grupo de mayores productores, también se incluye en el grupo de mayores importadores, por lo cual se presentan ventanas de mercado hacia ese país, las cuales pueden aprovecharse a través de los tratados de libre comercio constituidos (Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas [Fenalce], 2011a). A pesar de ello, Colombia no supe el consumo interno y registra importaciones de China, Ecuador, Bolivia y recientemente desde Estados Unidos, en el marco de ejecución del Tratado de Libre Comercio (TLC). Esto constituye una opción para el frijol, en el escenario del posconflicto, como cultivo altamente generador de empleo (Semillas para la paz..., 2018).

Los diez principales exportadores de frijol en el mundo son Myanmar con un volumen de exportación, entre 2000-2007, de 30,1 %, seguido de China con 24,2 %, Estados Unidos con 10,3 %, Canadá con 9 % y Argentina con 7,3 % (figura 3).

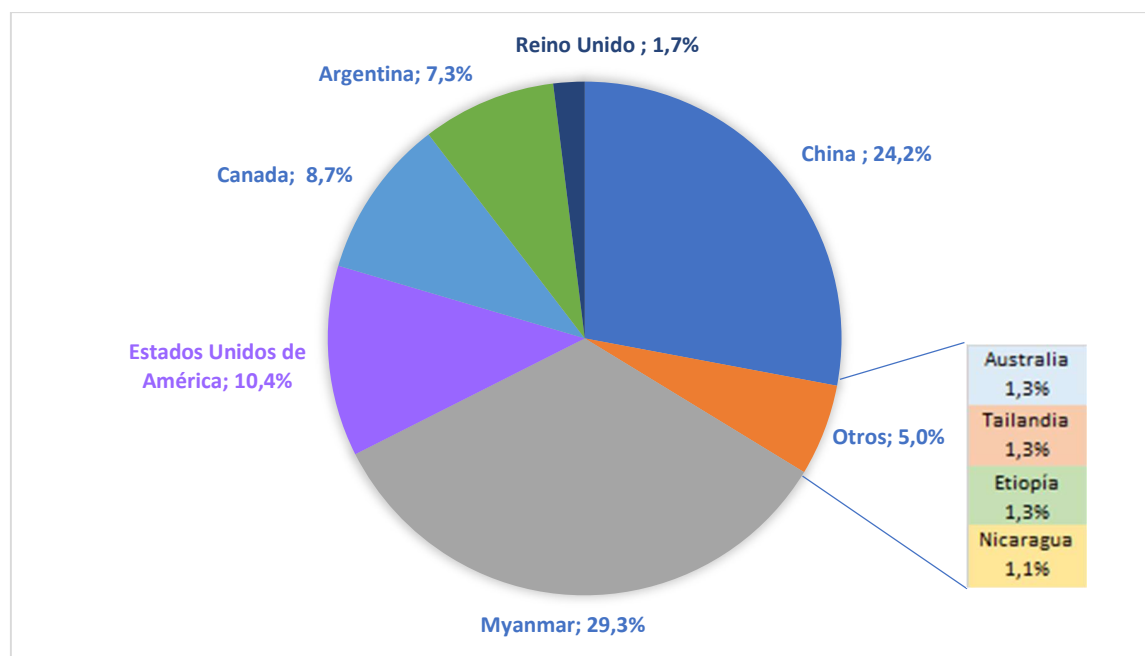


Figura 3. Principales exportadores de frijol en el mundo 2000-2009.

Fuente: Secretaría de Economía (2012)

Colombia, entre el 2000 y 2012 importó 28.321 toneladas anuales (Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas [Fenalce], 2013) y en 2014 produjo 170.534 t, insuficientes para suplir la demanda interna, constituyéndolo en importador (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], s.f.). En Colombia, el frijol es un alimento esencial en la canasta familiar de una gran mayoría de colombianos, el cual se mantuvo estable con 44.000 ha sembradas durante 2009 y 2010, con un rendimiento de 1,18 t/ha y una producción de 58.680 toneladas; durante el 2011, en el primer semestre se sembraron 50.714 hectáreas con un rendimiento de 1,26 t/ha y una producción de 64.053 t, y en el segundo semestre se sembraron 55.815 hectáreas con un rendimiento de 0,96 t/ha y una producción de 53.641 t (Fenalce, 2010).

La producción nacional se concentra en la Región Andina (85 % de la producción total) y en la Costa Atlántica (13 %). La producción de la Costa Caribe en 2013 fue de 11.455 toneladas, 10,6 % de la producción nacional, de la cual el Cesar aporta 4,4 %, siendo el mayor productor en la región y el quinto del país (Red de información y comunicación del sector agropecuario colombiano [Agronet, s.f.; Agronet, 2013]). El frijol es afectado por múltiples factores, que reducen el rendimiento hasta un 50 %, como la alta temperatura, la aplicación indiscriminada de agroquímicos y las enfermedades causadas por patógenos de la raíz y del brote (Melo, Ariza, Lissbrant, & Tofiño, 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 el tipo de frijol como las caraotas en centro América y Venezuela, y el tipo seda en Nicaragua. En Colombia el principal mercado está asociado a los tipos cargamanto, aunque también se comercializan los tipos 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 los preferidos 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 AGROSAVIA se destacan las variedades froilán de clase comercial,

radical y ARS-59 clase comercial calima (Voysest, 2000). En las regiones de la costa Caribe los frijoles más consumidos son el tipo zaragoza (rojo pálido), caupí y el palomito o blanquillo (Tofiño et al., 2011).

A la fecha se han identificado zonas productivas de frijol en los siete departamentos de la región Caribe, caracterizadas por productores asociados con tradición y trayectoria en el cultivo.

A nivel nacional, según el Censo Nacional Agropecuario del DANE, el 47,8 % del área agrícola sembrada en hortalizas y legumbres en el área rural dispersa corresponde a cultivos de frijol, ahuyama y tomate, siendo el cultivo de mayor área sembrada el del frijol con 29,3 % de participación (Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], 2016).

Según estadísticas de las Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA), para el año 2014 se contó con 128.234 hectáreas sembradas, con un área cosechada de 121.698 hectáreas, una producción de 149.112 toneladas, y un rendimiento de 1,23 toneladas por hectárea (Agronet, s.f.; Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR], 2016).

Para el caso del Caribe, se identifica a Cesar como el departamento con mayor área sembrada con frijol arbustivo en 2014 con 7.107 hectáreas, seguido de Bolívar con 3.607, Magdalena con 3.206 y La Guajira y con 1.590 hectáreas, dentro de las más relevantes (tablas 1 y 2).

Tabla 1. Área sembrada y cosechada del cultivo de frijol, en el año 2014, en los siete departamentos del Caribe

Departamento	Área sembrada (ha)		Variación (%)	Participación (%)	Área cosechada (ha)*		Variación (%)	Participación (%)
	2013	2014			2013	2014		
Total	132.102	128.234	-2,9	100,0	121.619	121.698	0,1	100,0
Cesar	7.412	7.107	-4,1	5,5	6.537	5.103	-21,9	4,2
Bolívar	3.607	3.893	7,9	3,0	3.653	3.310	-9,4	2,7
Magdalena	3.206	2.619	-18,3	2,0	2.843	2.526	-11,2	2,1
La Guajira	1.590	1.546	-2,8	1,2	1.205	1.247	3,5	1,0
Córdoba	954	1.172	22,9	0,9	574	829	44,2	0,7
Atlántico	794	823	3,7	0,6	661	660	-0,2	0,5
Sucre	269	223	-17,1	0,2	234	226	-3,8	0,2

Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) (2017)

Tabla 2. Producción y rendimiento del cultivo de frijol, en el año 2014 en ha, en los siete departamentos del Caribe

	Producción expresada en Grano Seco						
Departamento	Producción (t)*		Variación (%)	Participación (%)	Rendimiento (t/ha)		Variación (%)
	2013	2014			2013	2014	
Total	142.163	149.112	4,9	100,0	1,17	1,23	4,8
Cesar	4.596	3.900	-15,1	2,6	0,70	0,76	8,7
Bolívar	2.937	2.175	-25,9	1,5	0,80	0,66	-18,3
Magdalena	1.579	1.352	-14,4	0,9	0,56	0,54	-3,6
La Guajira	1.098	1.187	8,1	0,8	0,91	0,95	4,5
Córdoba	490	652	33,0	0,4	0,85	0,79	-7,8
Atlántico	482	464	-3,7	0,3	0,73	0,70	-3,5
Sucre	124	129	4,1	0,1	0,53	0,57	8,2

*El área cosechada y la producción de un año provienen de las siembras del segundo semestre del año anterior y de las siembras del primer semestre del año en mención.

Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) (2017)



Aspectos geográficos generales de la región Caribe colombiana

La región Caribe o Caribe colombiano, denominada así por la influencia directa del mar Caribe, concentra en su extensión todos los hábitats imaginables del trópico, con un conjunto de características que sorprende por una riqueza natural, pues abarca matices paisajísticos tales como: arrecifes, playas, acantilados, desiertos, llanuras, ciénagas, montañas, páramos, glaciares, entre otros (Hahn, 1991).

Dado que las condiciones agroclimáticas de la región Caribe colombiana son adecuadas para el establecimiento del cultivo del frijol común, y en esta región se concentra gran parte de la producción nacional de frijol, se realizó un análisis geográfico y de entorno ambiental para la región Caribe, como punto de partida para la definición del área de estudio para el Modelo productivo de frijol. Esta descripción se encuentra dividida entre Caribe seco y el Caribe húmedo.

El Caribe seco se concibe como aquella zona donde se destacan los bosques secos y muy secos, matorrales desérticos, entre otros, con excepción de la Sierra Nevada de Santa Marta, por lo que tales paisajes dominan los territorios de los departamentos de: Atlántico, Bolívar, César, La Guajira y Magdalena.

Delimitación de la región Caribe

Colombia se encuentra dividida por seis regiones naturales (figura 4): Andina, Caribe, Pacífica, Orinoquía, Amazonía e Insular, las cuales tienen como límites las divisorias de agua de las subcuencas hidrográficas más importantes de cada zona (Espinal Tascón, 1977). En tal sentido, los límites político-administrativos, que delimitan las entidades departamentales, son líneas artificiales que evidencian algunas características que dividen el paisaje natural.

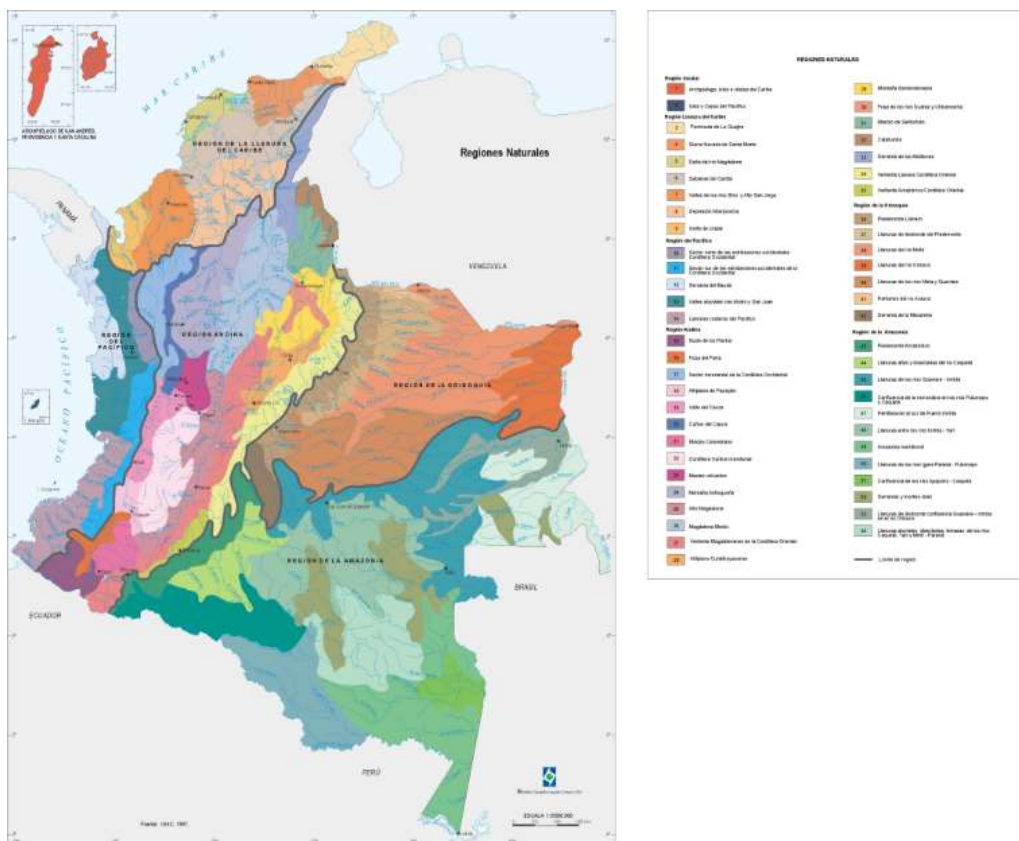


Figura 4. Regiones Naturales de Colombia.

Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) (2012)

Según Espinal Tascón (1977), la región Caribe integra el área total de dos departamentos (Atlántico y Magdalena) y el área parcial de siete (La Guajira, Bolívar, Cesar, Córdoba, Sucre, Antioquia y Chocó), desde el punto de vista político-administrativo. Así mismo, la región se subdivide en siete subregiones naturales (península de La Guajira, Sierra Nevada de Santa Marta, Delta del río Magdalena, Sabanas del Caribe, Valles de los ríos Sinú y alto San Jorge, Depresión Momposina y Golfo de Urabá).

El Caribe colombiano se caracteriza por similares zonas de vida, según clasificación de L. R. Holdridge; se presentan transiciones de paisajes muy áridos en el noroccidente, con formaciones más húmedas hacia el interior, en inmediaciones del golfo de Urabá (Holdridge, 2000). De acuerdo con dichas

características, los matorrales desérticos y los bosques secos tropicales dominan gran parte de los departamentos de La Guajira, Atlántico, Magdalena, Bolívar y Cesar, mientras en partes de Córdoba, Sucre y Antioquia hay transiciones cálidas de bosque seco a húmedo premontano, incidiendo en el tipo de vegetación presente (Hahn, 1991). Estas características coinciden con estudios técnicos como los generados por (Lombana Coy et al., 2012), entre otros, donde delimitan el Caribe seco y húmedo a partir de las divisiones político-administrativas.

Caribe seco

La región Caribe se encuentra localizada entre los 6,9° y 12,5° de latitud norte, y los 71° y 76,5° latitud oeste, delimitada para ocho departamentos (La Guajira, Atlántico, Magdalena, Bolívar, Cesar, Córdoba, Sucre y Antioquia); cubre un área total de trece millones de hectáreas, de las cuales nueve millones cuatrocientos mil hectáreas pertenecen al Caribe seco (figura 5). El término Caribe seco y Caribe húmedo está muy relacionado con la distribución de los tipos de vegetación presentes en la región, esencialmente la distribución de matorrales secos y bosques secos y húmedos.

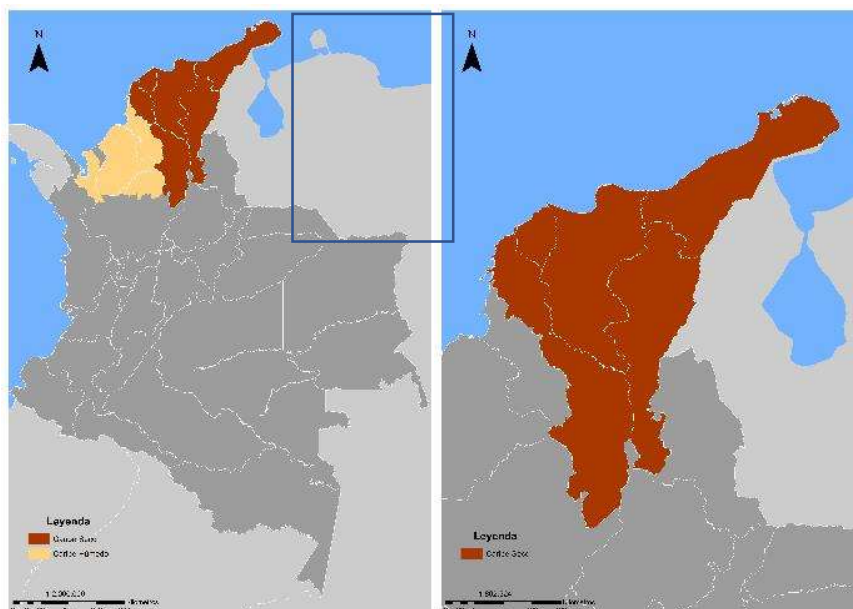


Figura 5. Área delimitada para las regiones Caribe y Caribe seco.

Fuente: Elaboración propia

En el Caribe seco, el cultivo de frijol se encuentra distribuido en la Serranía del Perijá, serranía de San Jerónimo y la Sierra Nevada de Santa Marta. En la región Caribe se encuentran tipos de suelos variados, asociados a la presencia de arcillas expandibles, vertisoles, acumulación de sales y sodio y aridisoles (Vargas & Gómez, 2003). Las localidades establecidas corresponden al sistema bosque seco premontano, en el piedemonte de la Serranía de Perijá, con relieve tipo abanico o terraza. Los suelos de Manaure corresponden a Aridic natrustalfs (PWD), con texturas medias a moderadas, bien drenados y fertilidad media a alta como el observado en lotes del Colegio CDR en la cabecera municipal. En la localidad de La Paz, vereda Los Encantos, finca Mi Suerte, corresponde a Vertic eutrudepts (MVC), los cuales son suelos profundos pero limitados por la pedregosidad, bien drenados y fertilidad moderada a alta. En la Sierra Nevada de Santa Marta, se observan entisoles como el torrifluvente que corresponde a un fluvente con régimen de humedad árido como en la finca La Esmeralda en la vereda El Descanso, corregimiento de María Angola, Valledupar; también se evidencia (FLU) y Dystropepts, como el observado en la localidad de Pueblo Bello, finca La Helenita (Blanco et al., 2012).

En el análisis de suelo de Caribe seco se encontró, en localidades de la Sierra Nevada, un pH extremadamente ácido en el suelo de la localidad Pueblo Bello, ligeramente ácido en Valledupar y neutro en las otras localidades. Sobre la Serranía del Perijá, localidades de Manaure Balcón del Cesar y La Paz Robles presentaron altos contenidos de fósforo, calcio y medios a altos de materia orgánica. Los contenidos de potasio y magnesio fluctuaron entre bajos y medios (tabla 3).

Tabla 3. Resultados de los análisis de suelo de zonas productoras de frijol en Cesar, Colombia 2016

Código	Localidad	Textura	pH	MO	P	K	Ca	Mg	Al	Na	CE	SATBAS	SATAL	Fertilidad	Unidad
				%	mg.kg ⁻¹	Cmol(+).kg ⁻¹				Ds.m ⁻¹	%		Suelos		
CS1	La Esmeralda	ArA	6,0	2,8	48,6	0,33	6,66	1,67	0,0	0,07	0,29	100	0,0	Media	FLUa
CS2	Bella Mary	FAr	6,8	1,8	81.3	0,19	9,0	1,4	0,0	0,10	0,4	100	0,0	Alta	PWEa
CS3	Los Encantos	FAr	6,8	3,7	63,5	0,32	6,89	2,10	0,0	0,05	0,20	100	0,0	Alta	MVCa
CS4	La Helenita	ArA	4,7	2,3	3,6	0,14	0,79	0,24	1,15	0,10	0,26	100	41	Media	PBa

SATBAS = Saturación de bases; SATAL = saturación de aluminio, análisis de suelo laboratorio de análisis de suelos, CI Tibaitatá, AGROSAVIA.

Fuente: Elaboración propia



Con relación a la clasificación por fertilidad de suelo (acorde a la metodología del IGAC, 2012), indicó una fertilidad media para los suelos de las localidades de Valledupar y Pueblo Bello, y una alta fertilidad para La Paz y Manaure. Los suelos de las localidades sobre la Sierra Nevada de Santa Marta son arcillo arenosos y los de la Serranía del Perijá presentaron textura franco-arcillosa.

Aspectos climáticos del Caribe seco para el cultivo de frijol

Al igual que el resto del país, el Caribe colombiano se encuentra sobre el cinturón ecuatorial o ecuador latitudinal, por lo que los procesos relacionados con el sol y con el nivel de radiación entrante, determinan los procesos atmosféricos subsiguientes y por ende las condiciones climatológicas de la zona, por ello esta región presenta una insolación permanente durante el año (12 horas durante el día), que en conjunto con características físicas tales como: forma, orientación, altitud, topografía, vegetación, entre otras que modifican el comportamiento de los elementos agroclimáticos, incidiendo principalmente sobre la precipitación, la temperatura, la humedad, entre otros, y la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) (Eslava, 1993).

En el país los núcleos productores de frijol corresponden a las zonas de vida cálido húmedo, templado húmedo, frío seco, templado seco y cálido muy húmedo. En este escenario, la mejor oferta bioclimática frente a las necesidades productivas del frijol la ofrece el nicho templado húmedo (Barrios & Álvarez, 2016), por lo que las condiciones ambientales de una región influyen directamente en los procesos fisiológicos de la planta. Entendiendo esto, por variable se hace una descripción de las áreas aptas para el cultivo de frijol, para finalizar con una aproximación que se basa en la integración de todas estas variables en un mapa temático que describe en conjunto la aptitud la zona.

Aproximación: determinación de zonas más aptas para el cultivo de frijol

La determinación de las zonas más aptas para el cultivo se realizó a partir del establecimiento de los umbrales de aptitud de las variables agroclimáticas de mayor relevancia, identificadas para el cultivo de frijol. Esta aproximación se basó en la construcción de capas temáticas de las limitantes territoriales, edáficas y principalmente climáticas de más peso para el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.).

De acuerdo con criterios provenientes de información secundaria y de expertos en el cultivo, los rangos propuestos determinaron la calificación de aptitud por variable, asignando el valor de 3 a los rangos con aptitud alta, 2 con media, 1 con baja y 0 no apta o sin aptitud, tal como lo detalla la tabla 4.

Tabla 4. Calificación de aptitud y rangos por variable para frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)

Aptitud para el cultivo de frijol (aproximación para el Caribe seco)							
Símbolo	Aptitud	Calificación	Elevación	Precipitación	Temperatura media	Humedad relativa	[ph]
			[elev.]	[ppt]	[tmed]	[hr]	
			(m s. n. m.)	(mm)	(°C)	(%)	
	Alta	3	600-1.300	300-550	20-23	65-80	6,5-7,5
	Media	2	400-600; 1.300-1.500	550-650	15-20; 23-27	60-65; 80-85	5,5-6,5; 7,5-8,2
	Baja	1	0-400	650-750	0-400	> 85	4,5-5,5
	No Apta	0	> 1.500	< 300; > 750	> 1.500	< 60	< 4,5; > 8,2

Fuente: Elaboración propia

La integración de las variables se realizó a partir de un proceso de álgebra de mapas, basado en un cálculo aritmético sencillo, aplicando la siguiente ecuación:

$$Aptitud = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} = \frac{[Elev.] + [PPT] + [TMed] + [HR] + [pH]}{5}$$

Donde x_i son las variables de mayor relevancia y n el número de variables utilizadas en la aproximación, para este caso cinco.

La información utilizada correspondió a series históricas mensuales (periodo 1980-2011) de las variables de precipitación, temperatura media y humedad relativa proveniente de la red hidrometeorológica del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM); previamente se realizó un proceso de control de calidad y complementación de datos faltantes, lo cual se llevó a cabo durante la ejecución del proyecto Corpoica-MAPA (Modelos de Prevención y Adaptación Agroclimática) (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [Corpoica], 2016a). La información edáfica fue derivada del mapa de conflictos de uso del suelo del IGAC (2012), mientras la elevación fue extraída del Modelo Digital de Elevación (DEM, por sus siglas en inglés), con resolución espacial de 30 metros generado por la misión SRTM de la NASA.

De acuerdo con los rangos, a continuación, se detallan los umbrales de aptitud por variable, estableciendo localización y áreas (ha).

Precipitación

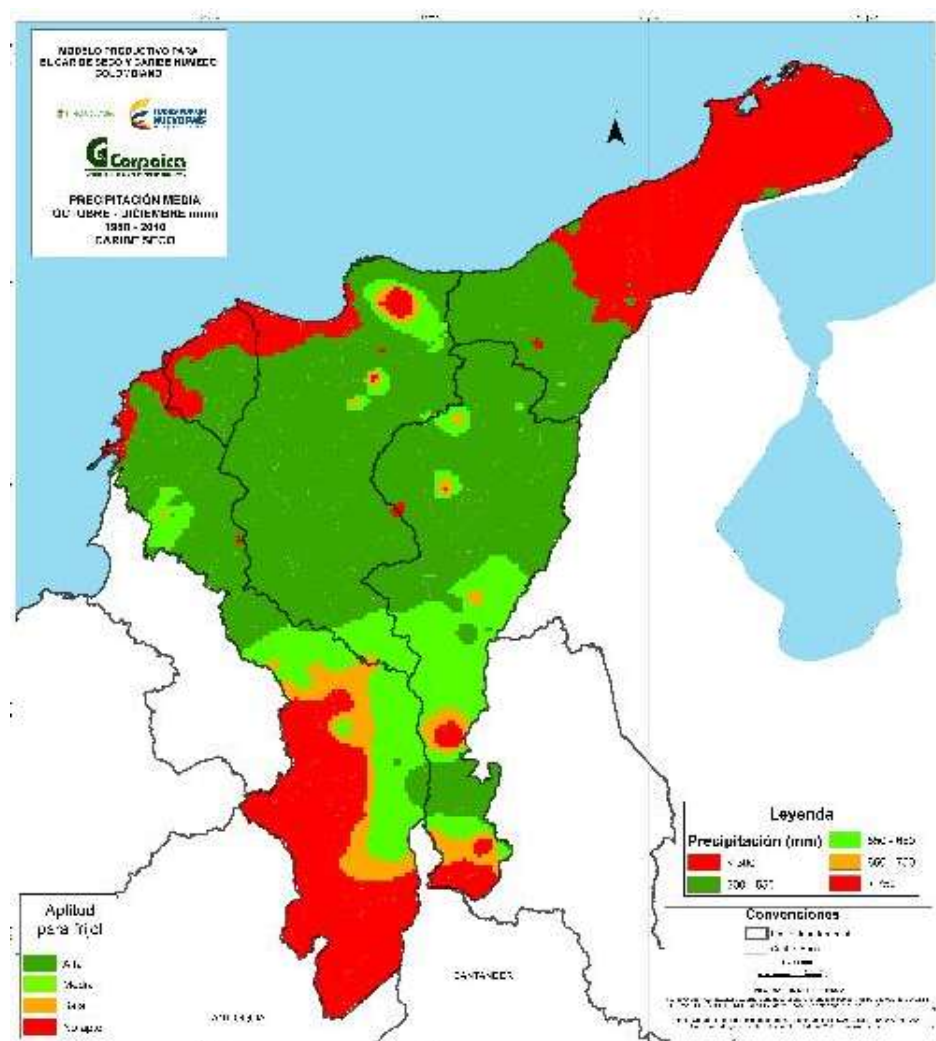
El agua se considera el solvente universal y la molécula de la vida. En la planta tiene funciones estructurales y funcionales, por lo cual se hace indispensable para completar el ciclo de vida y la producción de grano en frijol. Sin embargo, el germoplasma de la especie presenta variabilidad respecto a su habilidad de tomar agua en los perfiles inferiores del suelo y en su capacidad de producir materia seca por cada litro de agua que evapotranspira (Pastor-Corrales & Schwartz, 1994; Herrera Flores, Ortiz Cereceres, Delgado Alvarado, & Acosta Galleros, 2014).

El cultivo del frijol necesita mínimo de 300 a 400 mm de precipitación efectiva durante su desarrollo fenológico, por lo que se deben garantizar, por lo menos, para el ciclo del cultivo, que es de 90 días (3 meses), un promedio entre 400-500 mm/ciclo para asegurar que las necesidades hídricas del cultivo sean cubiertas sin que afecte las pérdidas por los procesos hidrológicos (percolación profunda, drenaje superficial y subsuperficial, entre otros).

Algunas especies leguminosas demuestran una gran adaptación a las zonas áridas y la sequía como el frijol tepari (Shisanya, 2002). Sin embargo, en el germoplasma de frijol común, se presenta tolerancia variable a la sequía. En frijol se han identificado las etapas críticas frente a la limitación hídrica, pues si se restringe la oferta de agua durante la floración, desarrollo y llenado de la legumbre, se disminuirá el rendimiento de grano en un grado variable respecto a cada variedad, de acuerdo con su capacidad fisiológica de contrarrestar los efectos de la sequía o índice de tolerancia a la sequía. Sin embargo, al otro lado del espectro de adaptación de la especie, altas condiciones de precipitación y humedad relativa pueden favorecer la presencia de bacterias y hongos patógenos (Barrios & Álvarez, 2016).

Para el frijol, las épocas de siembra y cosecha del cultivo están determinadas por la presencia de las temporadas lluviosas, presentadas durante los meses de abril-mayo y octubre-noviembre, de acuerdo con el régimen bimodal de lluvias que impera en el Caribe colombiano. En este sentido, el frijol requiere humedad adecuada en el suelo, desde la siembra hasta dos terceras partes de su ciclo. El suministro hídrico debe concordar con las necesidades específicas del momento fenológico del cultivo, pues las necesidades no son uniformes a lo largo del ciclo. Las necesidades son crecientes durante la floración, la formación y el llenado de la legumbre, pero decaen drásticamente durante la maduración. Por ello, el rendimiento y calidad del grano se alcanzan cuando el cultivo se expone a déficit hídrico en la última fase del cultivo (Valderrama, Núñez, & Duarte, 1997).

Las áreas definidas se establecieron a partir de la acumulación de la precipitación de los meses abril, mayo y junio, los cuales climatológicamente están en la primera temporada de lluvias, y la segunda temporada seca del año (figura 6).



Precipitación				
(Ciclo de cultivo 1: abril - junio)				
Símbolo	Aptitud	Rangos (mm)	Área (ha)	%
	Alta	300-550	4.949.568	51,6
	Media	550-650	1.350.144	14,1
	Baja	650-750	409.536	4,3
	No Apta	< 300; > 750	2.885.184	30,1

Figura 6. Clasificación de la precipitación en ciclo de cultivo (abril-junio), periodo climatológicamente más seco, según aptitud para el cultivo de frijol.

Fuente: Elaboración propia

Temperatura

El frijol se adapta bien desde 700 hasta 1.500 m s. n. m. La planta se desarrolla bien entre temperaturas promedio de 15 a 27 °C, las que generalmente predominan a elevaciones de 700 a 1.200 m s. n. m., pero es importante reconocer que existe un gran rango de tolerancia entre diferentes variedades (Pastor-Corrales & Schwar, 1994).

La fisiología del cultivo es sensible a los cambios en la temperatura del aire y el suelo, pues se afecta tanto la germinación como el desarrollo de raíces laterales y la floración misma. En general, valores extremos de temperatura < 5 °C, > 40 °C, ocasionan problemas de esterilidad y baja floración, además de daños generalizados a las estructuras membranales y complejos proteínicos (Herrera et al., 2014). Altas temperaturas inhiben la fijación de nitrógeno atmosférico ($N \equiv N$). Temperaturas diurnas > 30 °C y temperaturas nocturnas > 20 °C, disminuyen el rendimiento del cultivo. Lo anterior, en términos prácticos, se refleja en disturbios en el proceso reproductivo cuando las temperaturas nocturnas superan los 23 °C, como abscisión de flores, vainas en desarrollo y pérdida de viabilidad en el polen. En el otro espectro, temperaturas nocturnas inferiores a 15 °C limitan la germinación, disminuyen el vigor de la planta y dilatan el alcance de la cosecha (Barrios & Álvarez, 2016).

Estudios realizados muestran que, para la germinación, la temperatura mínima es 8 °C, para la floración es 15 °C y para la madurez es de 18 a 20 °C. Sin embargo, las altas temperaturas ocasionan pérdidas en el rendimiento debido a la disminución en la viabilidad del polen, así como abortos florales, producción de vainas vanas y semillas pequeñas y arrugadas (Polanía, Rao, Mejía, Beebe, & Cajiao, 2012).

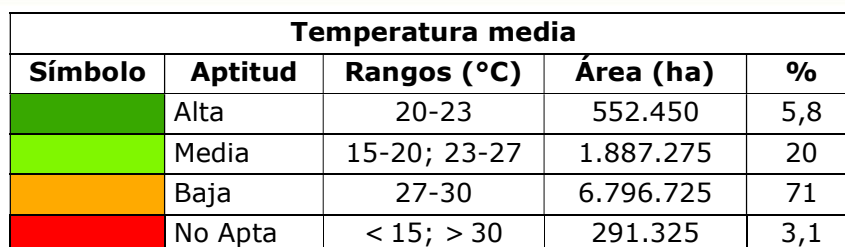
En Colombia los suelos de climas fríos, menores a 17 °C, de amplia tradición productiva de frijol voluble, naturalmente evidencian alta acidez con altos contenidos de aluminio, al igual que limitaciones en la concentración de Magnesio o alteraciones en su proporción respecto al calcio.

Con relación al efecto del estrés, se ha establecido que la respuesta del vegetal es interdependiente frente a la intensidad y duración. Al respecto, se ha observado que temperaturas diurnas inferiores a 15 °C restringen la germinación, desarrollo

del vegetal y alargan el ciclo productivo. Sin embargo, días continuos con temperaturas nocturnas inferiores a 15 °C ocasionan, además, clorosis, necrosis e incluso la muerte de la planta (Arias et al., 2007).

La temperatura media en el Caribe seco presenta una gran variabilidad espacial debido a la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM) y la Serranía del Perijá. En relación con el cultivo del frijol, este se desarrolla bien entre temperaturas promedio de 15 a 27 °C, prácticamente a lo largo de toda la región, exceptuando la SNSM, pero es importante reconocer que existe un gran rango de tolerancia entre diferentes variedades. Puntualmente, la fluctuación de la humedad en el continuo suelo-planta-atmósfera modifican la fenología y la morfología radical (Herrera et al., 2014).

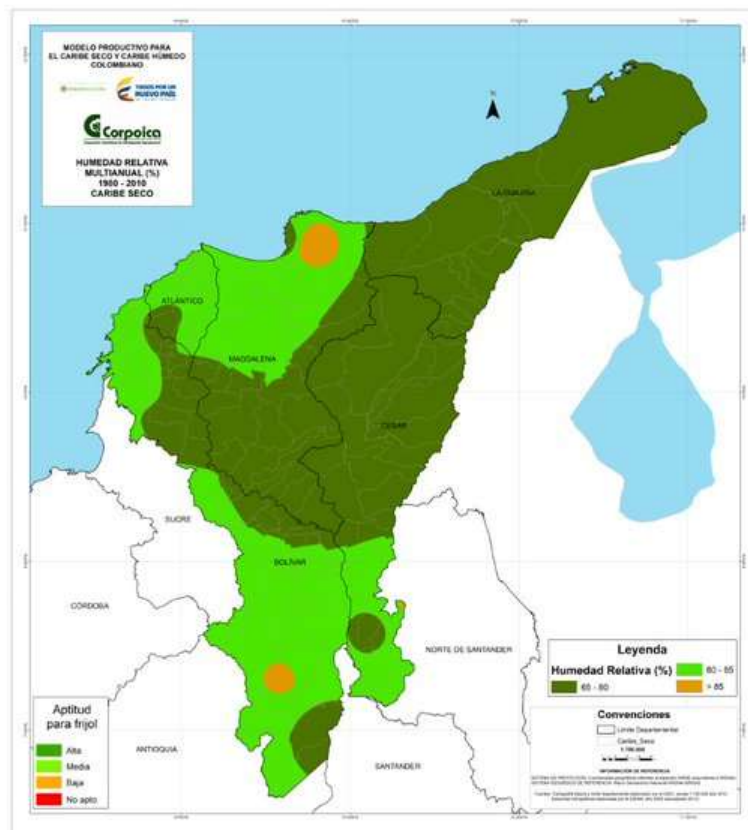
Fisiológicamente, cuando la temperatura media es menor a 15 °C, se produce poca germinación, retraso en la emergencia, disminución del vigor de la planta, retraso en el alcance de la madurez de la legumbre y disminución en el rendimiento (Arias et al., 2007) (figura 7).



Fuente: Elaboración propia

Humedad relativa

El valor óptimo oscila entre el 65 % y 80 %, por lo cual casi toda el área de la región Caribe es apta para el cultivo de frijol, con excepción del Urabá Antioqueño en el suroccidente, con humedades relativas por encima de 85 %, lo cual favorece el desarrollo de enfermedades en hojas y frutos (figura 8).



Humedad relativa media				
Símbolo	Aptitud	Rangos (°C)	Área (ha)	%
	Alta	65-80	5.957.825	60,1
	Media	60-65; 80-85	3.514.825	35,5
	Baja	> 85	143.350	1,4
	No apta	< 60	291.325	2,9

Figura 8. Clasificación de la humedad relativa media multianual según aptitud para el cultivo de frijol.

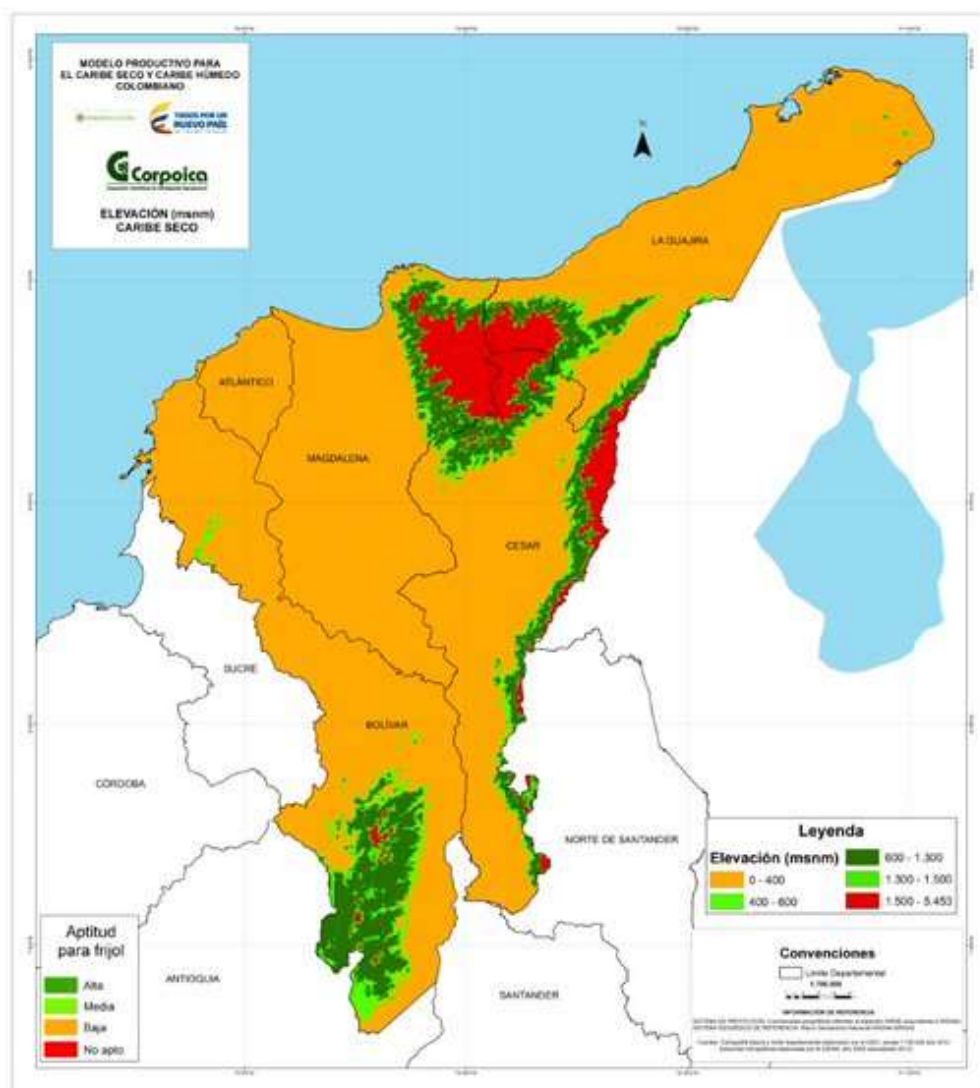
Fuente: Elaboración propia

Cuando la humedad y la temperatura son altas y la luminosidad es insuficiente se produce una floración deficiente, caída de flores, reducción del rendimiento y disminución del crecimiento, efectos similares se producen cuando la humedad es relativamente escasa (Herrera et al., 2014).

Elevación

Mientras que el frijol arbustivo en Antioquia se siembra entre 1.300 y 1.800 m. s. n. m. (Román & Arias, 1995), según ensayos realizados por Corpoica, en general, el cultivo del frijol arbustivo que es el predominante en la subregión, se adapta bien desde 700 hasta 1.500 m s. n. m., con mayor predominancia entre 800 y 1.300 m s. n. m., donde se considera que es lo más apto; cabe destacar que, de acuerdo con la variedad, puede haber un rango de tolerancia más flexible.

Para el frijol arbustivo, las áreas con aptitud alta representan 292.150 ha (10,2 %), con media 176.175 ha (6,2 %), con baja 2.213.050 ha (77,6 %), mientras las no aptas ocupan 170.450 ha (6,0 %) (figura 9).



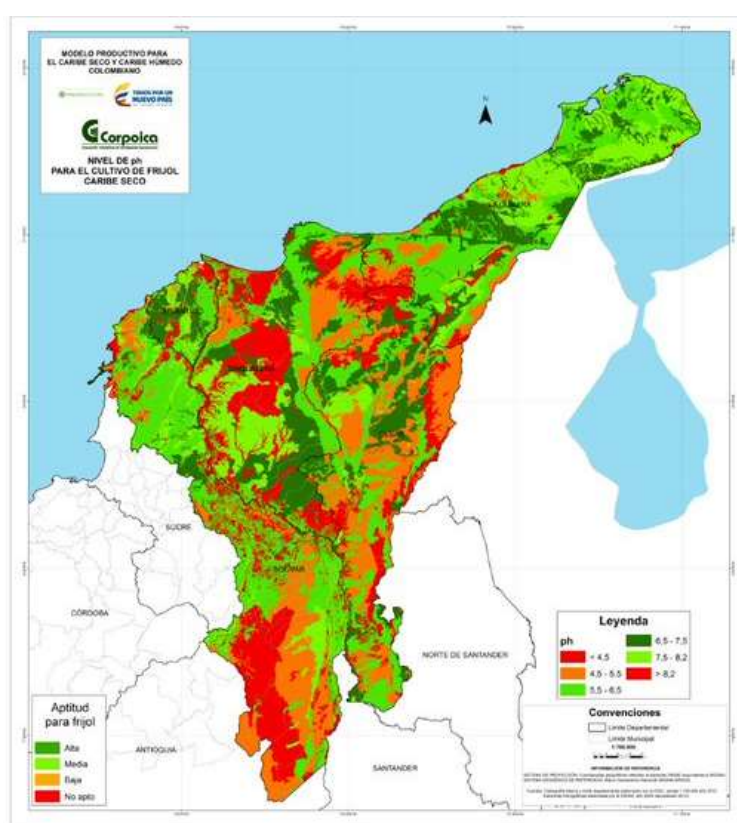
Elevación				
Símbolo	Aptitud	Rangos (m s. n. m.)	Área (ha)	%
	Alta	600-1.300	976.244	10
	Media	400-600; 1.300-1.500	588.704	6,2
	Baja	0-400	7.395.092	78
	No Apta	> 1.500	569.573	6

Figura 9. Clasificación de la elevación según aptitud para el cultivo de frijol.

Fuente: Elaboración propia

pH

El pH óptimo para frijol está comprendido entre 6,5 y 7,5 pues dentro de este rango la mayoría de los elementos nutritivos del suelo presentan una máxima disponibilidad para la planta. Sin embargo, aunque es tolerante a pH entre 4,5 y 8,2, por debajo de 5,5 presenta generalmente síntomas de toxicidad de aluminio o manganeso (Rivera, Polania, Borrero, Beebe, & Rao, 2014) (figura 10).



Ph				
Símbolo	Aptitud	Rangos	Área (ha)	%
	Alta	6,5-7,5	1.641.782	17
	Media	5,5-6,5; 7,5-8,2	4.262.118	44
	Baja	4,5-5,5	1.794.973	19
	No Apta	< 4,5; > 8,2	1.929.549	20

Figura 10. Clasificación del pH para la región Caribe según aptitud para el cultivo de frijol.

Fuente: Elaboración propia

Luminosidad

Bajo condiciones óptimas, la fotosíntesis del frijol es del orden de 2 g de CO₂ fijado por hora por m² de lámina foliar. Esto significa que, si el 100 % de los productos fotosintéticos se allocaran en la producción de semilla y no tuvieran que competir con otros procesos metabólicos de acuerdo con la relación fuente-vertedero, serían más las pérdidas energéticas de la fotorrespiración, entre otros, y la planta de frijol produciría alrededor de 40 t/ha. Sin embargo, la planta realiza otros procesos que implican inversión de productos fotosintéticos. El índice de cosecha es una variable que indica cuanto del carbono fijado se invierte en el órgano cosechado. El germoplasma de frijol común mantiene índices de cosecha entre 0,5-0,6, siendo valores inferiores un indicador de baja adaptación o la aplicación de un plan de fertilización inadecuado en el que se privilegia el desarrollo del brote sobre la generación de legumbres y semillas lo cual afecta la productividad (Araujo & Grandi, 2008; Pedroza, Trejo, Chávez, & Samaniego, 2013). La luz también afecta la fenología y morfología de una planta por medio de reacciones de fotoperiodo y elongación (etiolación), y a intensidades altas puede afectar la temperatura de la planta (Herrera et al., 2014).

Se ha establecido, a partir de múltiples estudios en el trópico y el subtrópico, que el frijol es un cultivo de días cortos, por lo cual incrementos en las horas luz, de modo similar a la baja temperatura, amplían el ciclo del cultivo en lo que respecta a la maduración de legumbres. Sin embargo, la sensibilidad al fotoperiodo es heterogénea entre cultivares, pues cada hora diaria adicional puede repercutir diferencialmente en una prolongación de dos a seis días en la cosecha del grano (Pedroza-Sandoval, Trejo-Calzada, Sánchez-Cohen, Samaniego-Gaxiola, & Yáñez-Chávez, 2016).

Zonas de aptas para el cultivo de frijol

De acuerdo con la figura 11, que muestra las áreas de aptitud para el frijol, se observa que gran parte de la zona se encuentra en una categoría baja, localizada a lo largo de la alta y media Guajira, centro y sur del Cesar, noroccidente del Magdalena y centro y sur de Bolívar, con un área aproximada de 5.855.000 ha, que representan el 62 % de toda el área.

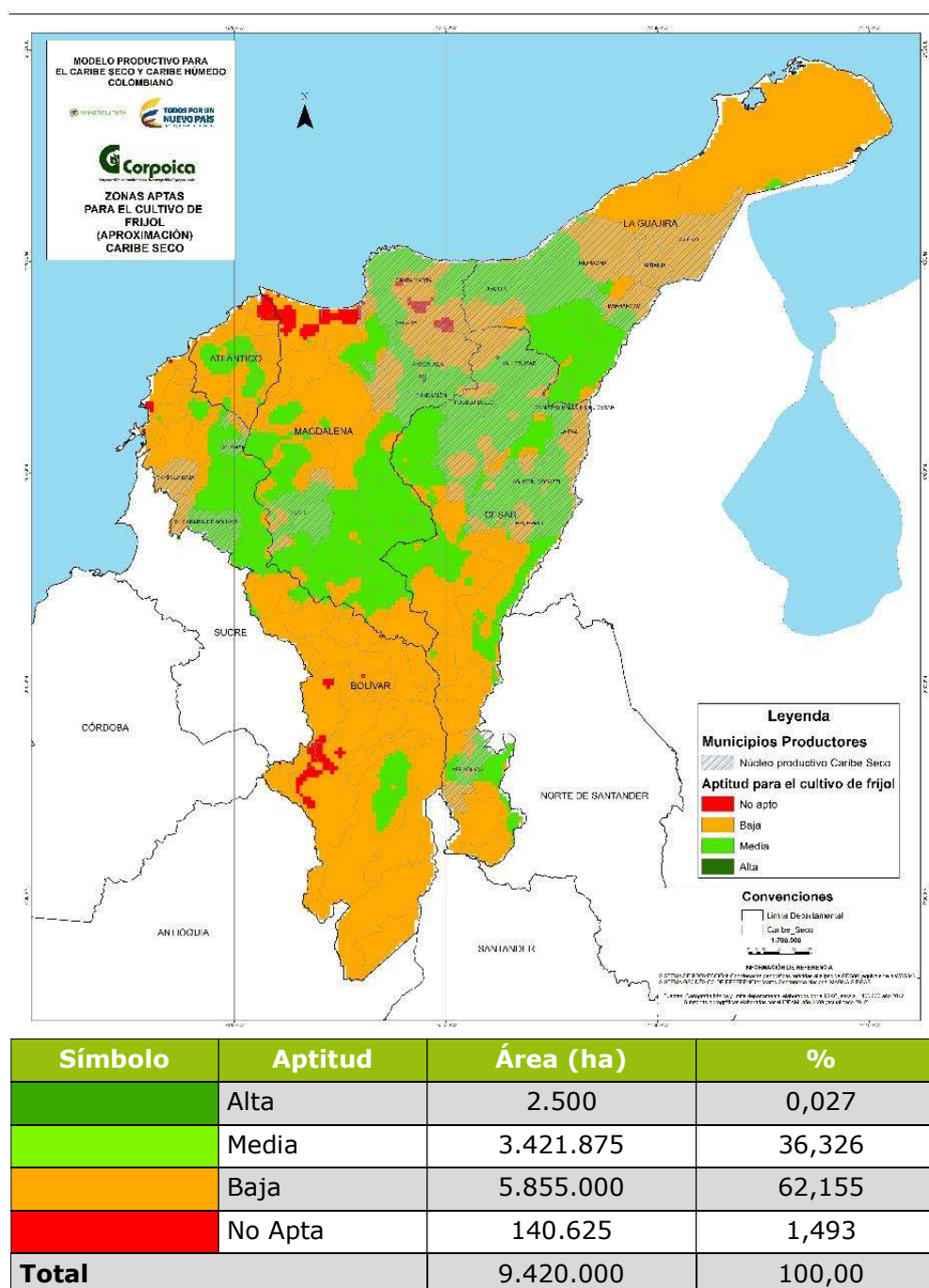


Figura 11. Mapa de áreas aptas para el cultivo de frijol.

Fuente: Elaboración propia

Así mismo, las áreas con aptitud media están localizadas sobre la franja central del Caribe seco, exactamente centro de Bolívar, sur del Magdalena, norte del Cesar y suroccidente de La Guajira, representando el 36 % del total de la zona de estudio. Cabe destacar que los municipios más productores de frijol durante los últimos 10 años, según datos de las Evaluaciones Agropecuarias Municipales (MADR, 2016), coinciden con gran parte de las áreas con aptitud media en el Caribe seco (figura 11).

Las áreas con aptitud alta no sobrepasan las 2.500 ha, siendo porciones pequeñas (2.500 ha) localizadas en los municipios de Aracataca (Magdalena) y Valledupar (Cesar) (figura 11).

Capítulo II

Entorno social, enfoque étnico y agricultura familiar

Caracterización de las condiciones de producción de frijol en el Caribe seco

Se realizan talleres con una muestra de productores de municipios del Caribe seco, en los que se captura información relacionada con variables de tipo socioeconómico, técnico y productivos del cultivo de frijol, y se visitan municipios y veredas del Cesar, La Guajira, Córdoba y Bolívar. La metodología que se utiliza es por consenso, con el uso de una herramienta de votación, en la que los productores eligen, a través de un control (*Clicker*), las opciones que se adecúan a sus condiciones de producción. La metodología permite, en tiempo real, hacer ajuste a las preguntas, a las opciones de respuesta, y la discusión por parte de los participantes sobre la veracidad de los resultados, es decir sobre la realidad del objeto de estudio, así como votar cuantas veces sea necesario hasta que se logre una respuesta veraz (figura 12).



Foto: Yanine Roza Leguizamón

Figura 12. Taller por consenso con productores de frijol del municipio de Manaure Cesar.

Socioeconómicas

Relación con el predio y años de experiencia como productores de frijol

El Censo Nacional Agropecuario (CNA) afirma que el 72,7 % de las Unidades de Producción Agropecuaria (UPA), son propias, 9,6 % son arrendadas y 6,6 % tienen otras formas de tenencia de la tierra (DANE, 2016).

Dentro de los municipios visitados en el Caribe seco, los productores afirman que el 52,63 % son propietarios, el 28,07 % son predios familiares, 9,65 % son a medieros,² 5,26 % arriendan lotes para sembrar y 4,39 % son sana posesión (figura 13). Del total de productores consultados el 38,74 % tiene más de 20 de años de experiencia en la producción de frijol, 20,72 % entre 11 y 20 años, 22,52 % menos de 5 años y 18,02 % entre 6 y 10 años (figura 14).

² Modalidad en la que el dueño de la tierra suministra el lote y el dinero, al vender la cosecha, se restan los recursos invertidos, más el arriendo de la tierra y el excedente es dividido entre los dos 50-50.

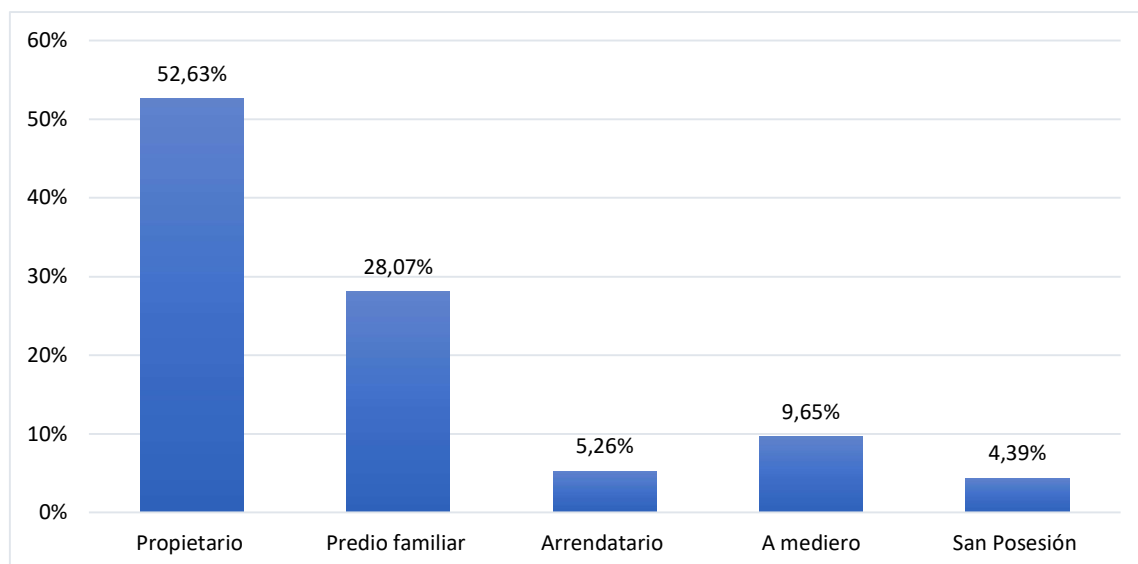


Figura 13. Tipo de tenencia de la tierra.

Fuente: Elaboración propia

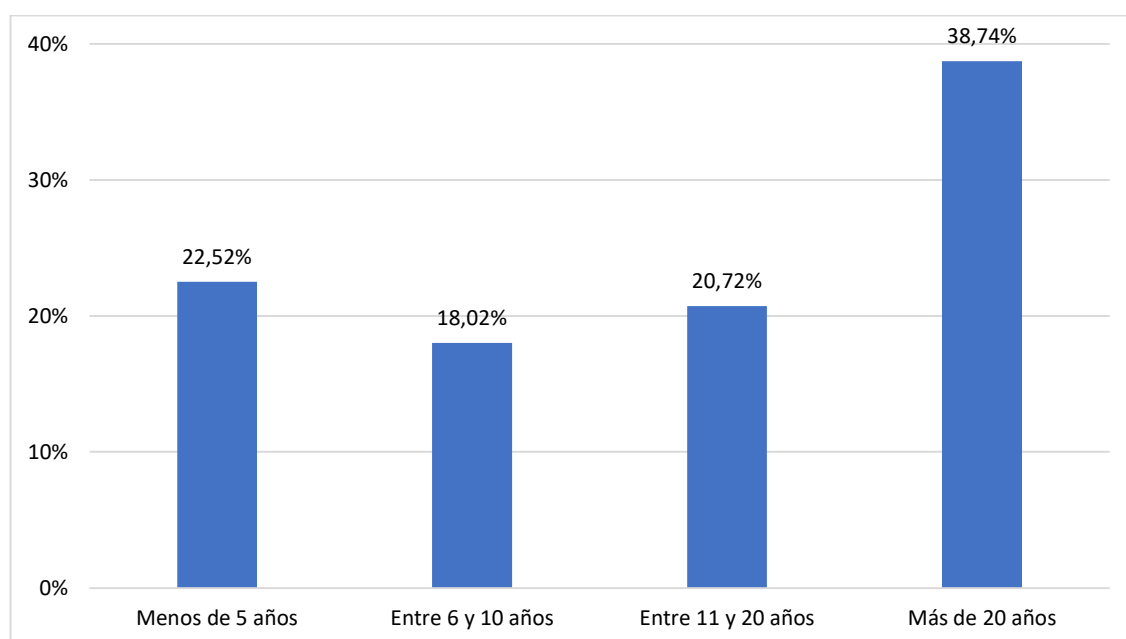


Figura 14. Años de experiencia en la producción del frijol.

Fuente: Elaboración propia

Área del predio

A nivel nacional, según el Censo Nacional Agropecuario, el 70,4 % de las UPA están conformadas por menos de 5 ha, el 10,7 % entre 5 y 10 ha y 13,8 % entre 10 y menos de 50 ha (DANE, 2016).

De los municipios visitados en el Caribe seco se encuentra que el 42,05 % de los productores tiene entre 10 y 20 ha, 22,73 % de 5 a 10 ha, 13,64 % de 1 a 5 ha, 13,64 % más de 20 ha y 7,95 % menos de 1 ha (figura 15).

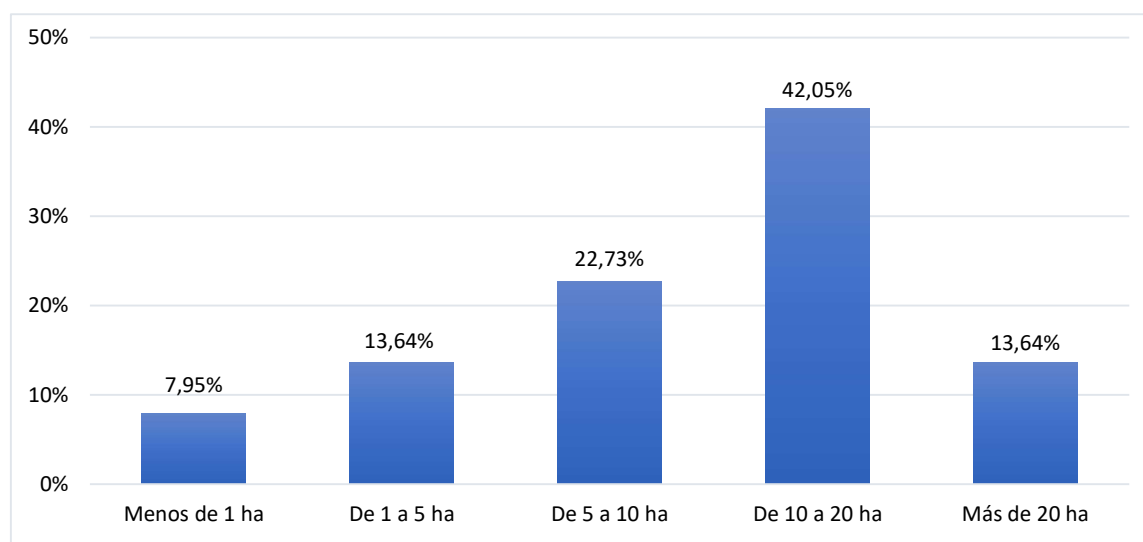


Figura 15. Área total de la finca.

Fuente: Elaboración propia

Área con producción de frijol

De estos predios analizados, en el 52,17 % se siembra solo un cuarto de hectárea en frijol; en el 15,22 %, media hectárea; el 8,70 %, una hectárea, en otro 8,70 %, entre 1 y 5 ha, y 15,22 %, más de 5 hectáreas (figura 16). Algunos factores que inciden en las bajas áreas de siembra de la hortaliza, según lo manifiestan los productores, son el nulo o bajo acceso a fuentes hídricas para el riego del cultivo, la falta de recursos económicos, el bajo o nulo acceso a crédito y los bajos precios por intermediación (figura 17). De acuerdo con la topografía, el 43,14 % de los productores afirma que los predios en los que producen frijol son quebrados, el 39,22 % son planos y el 17,65 % ondulados (figura 18).

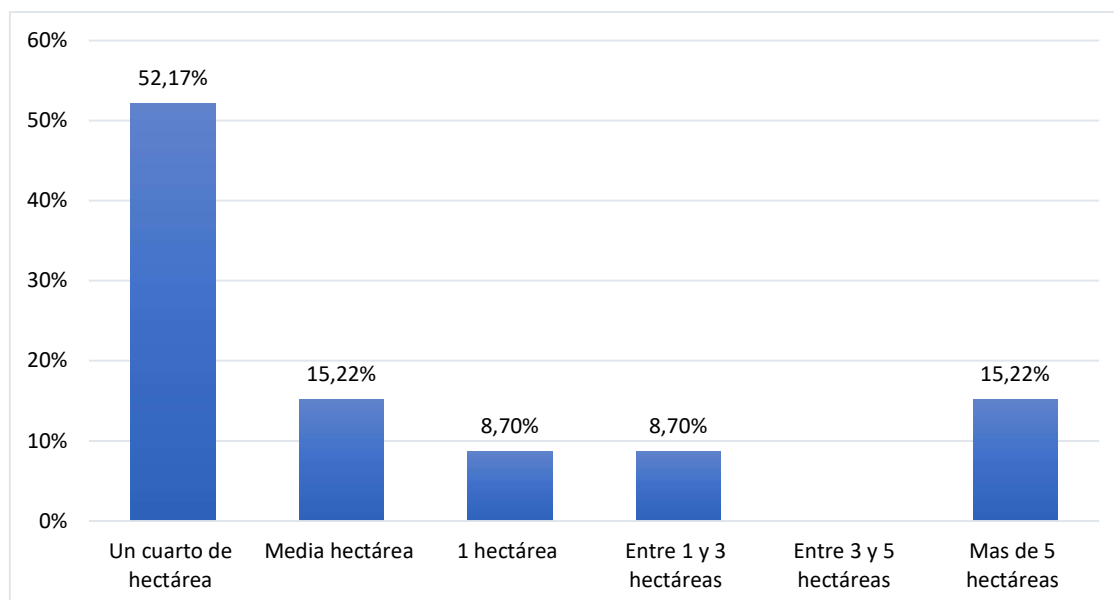


Figura 16. Área del predio sembrada en hortalizas.

Fuente: Elaboración propia

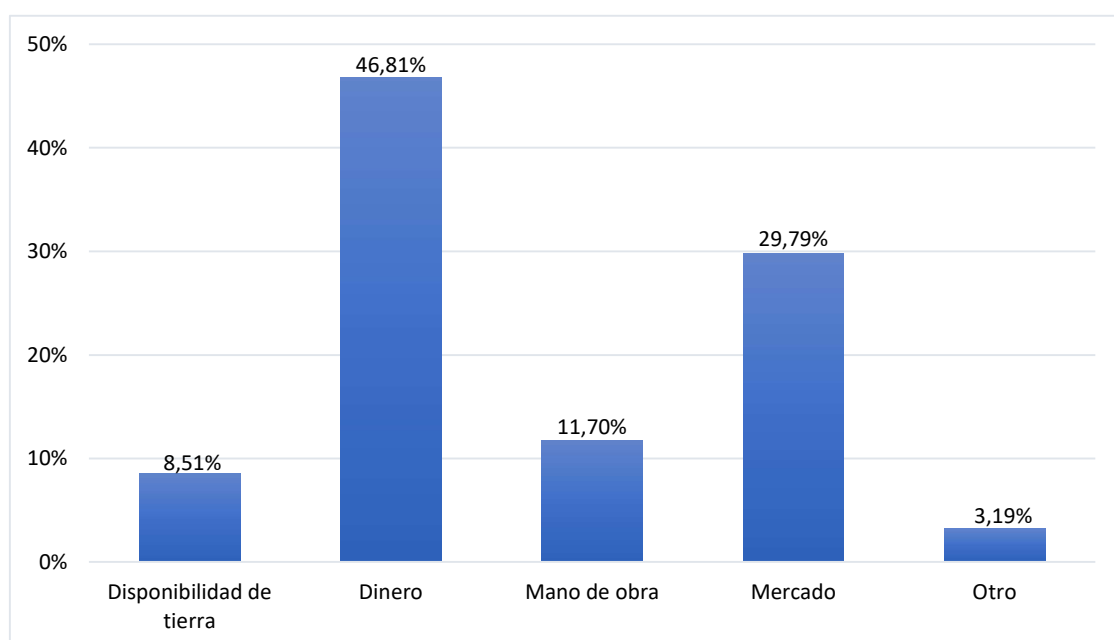


Figura 17. Razones por las que no se siembra más frijol.

Fuente: Elaboración propia

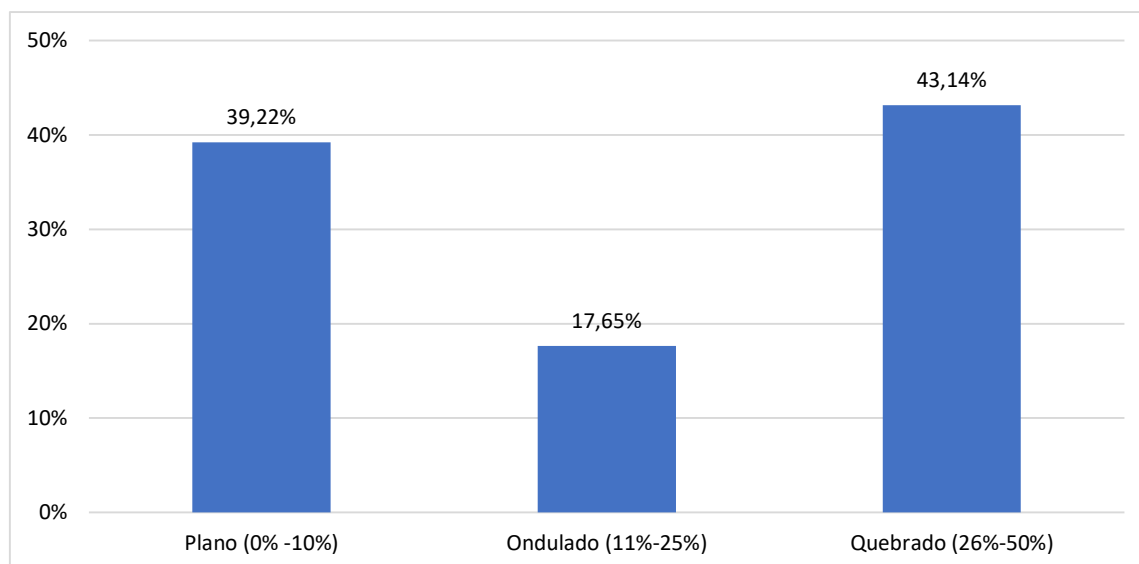


Figura 18. Topografía de predios en los que produce frijol.

Fuente: Elaboración propia

Tipo de vías de acceso y estado

Del área total analizada en el Censo Nacional Agropecuario (111,5 millones de ha), el 38,6 % tiene uso agropecuario, el 56 % es área de bosques, lo que evidencia que es un país con extensa zona rural dedicada especialmente a la agricultura y la ganadería. La red vial de Colombia cuenta con aproximadamente 128.000 km, de estos 17.143 km son de red primaria y 111.364 km son de red secundaria; 27.577,45 km pertenece a la red terciaria (Zamora Fandiño & Barrera Reyes, 2012), de los cuales solo el 6 % son pavimentadas, 70 % afirmadas y 24 % son camino polvoriento (Solo 25 por ciento..., 2017).

La anterior información coincide con los resultados encontrados a la pregunta sobre el estado de las vías de acceso a las fincas o a los predios en los cuales se tiene la producción. El 71 % de los productores afirma que la vía de acceso a su predio es camino de herradura, el 19 % cuenta con vías sin pavimentar y el 10 %, con vías pavimentadas (figura 19). A la pregunta sobre el estado de la vía de acceso, el 78,41 % afirma que se encuentra en mal estado; 19,32 %, que se encuentra en regular estado, y solo el 2,27 % afirma que la vía de acceso a su predio se encuentra en buen estado (figura 20).

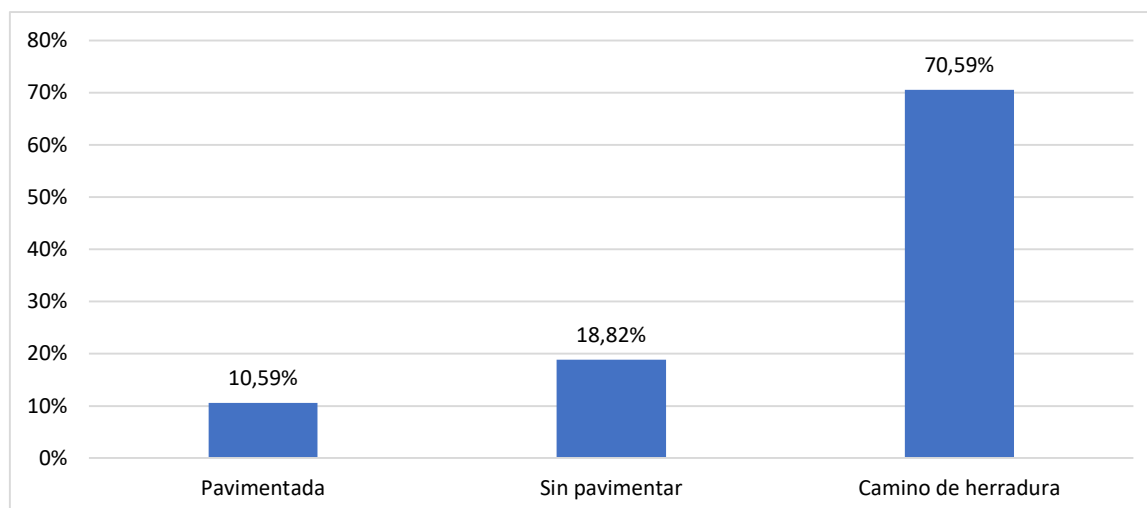


Figura 19. Tipo de vía de acceso al predio.

Fuente: Elaboración propia

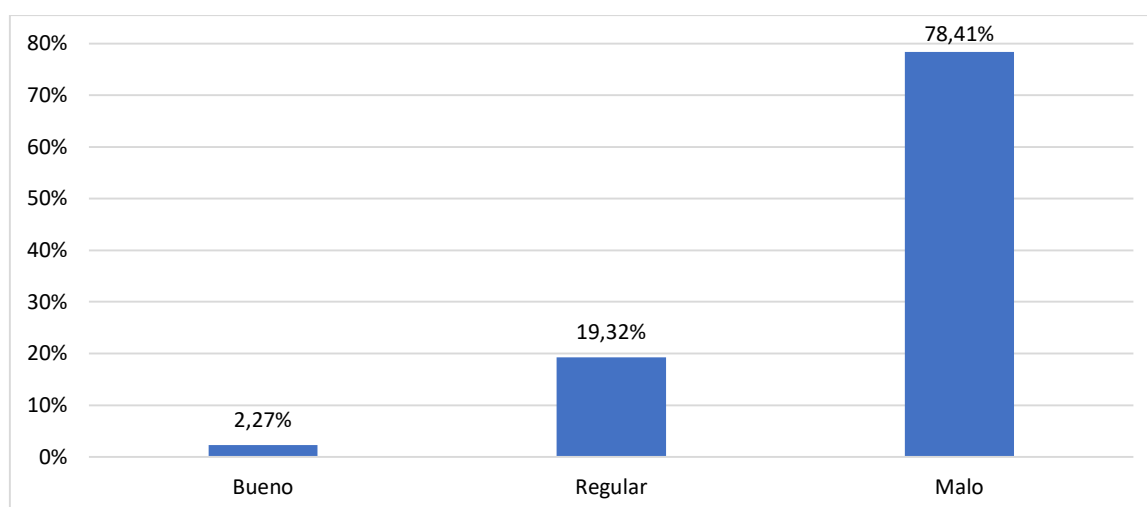


Figura 20. Estado de la vía de acceso a los predios.

Fuente: Elaboración propia

Acceso a servicios públicos

Según el informe del CNA, el 82,9 % de las viviendas ocupadas en el área rural dispersa cuenta con servicio de energía eléctrica, 42,5 % cuenta con acueducto y el 15,7 % no tiene acceso a ningún servicio público (DANE, 2016).

Para el caso específico de la zona de estudio se encuentra que el 31,41 % no tiene acceso a ningún servicio público; el 26,92 % cuenta con servicio de energía eléctrica en la finca; el 25,64 %, señal de celular, y 16,03 %, algún tipo de acueducto (figura 21).

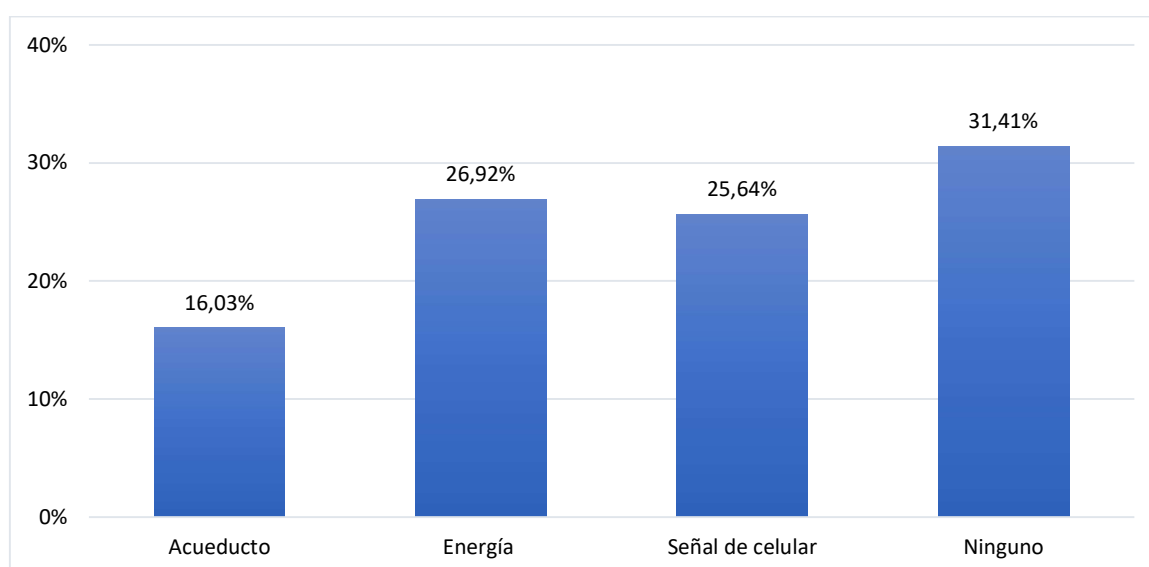


Figura 21. Accesos a servicios públicos.

Fuente: Elaboración propia

Mano de obra

La metodología del CNA, que pregunta en los últimos 30 días qué tipo de mano de obra ha utilizado, refiere que hay a la fecha 4,5 millones de trabajadores permanentes, de estos el 45,9 % corresponde a personas que pertenecen al hogar. Estas cifras varían según la época o el cultivo.

Los productores encuestados afirman que el 23,19 % es mano de obra permanente y el 76,81 % es ocasional (figura 22). Hay una alta incidencia en el cultivo de la mano de obra familiar (MOF) con 81,03 % y de este porcentaje el 60,91 % es remunerado y el 39,02 % no (figura 23). El 38,22 % de esta MOF se encuentra en un rango de edad entre los 19 y 35 años, el 24,20 % de 35 a 50 años, 19,11 % son menores de 19 años y 18,47 % mayores de 50 años (figura 24). Los productores manifiestan que sus hijos han emigrado a las ciudades o centros

urbanos buscando mejores ingresos, para ellos no es rentable el campo y se ocupan, en mototaxismo, las fuerzas militares o el comercio. Esta situación está generando escasez de mano de obra.

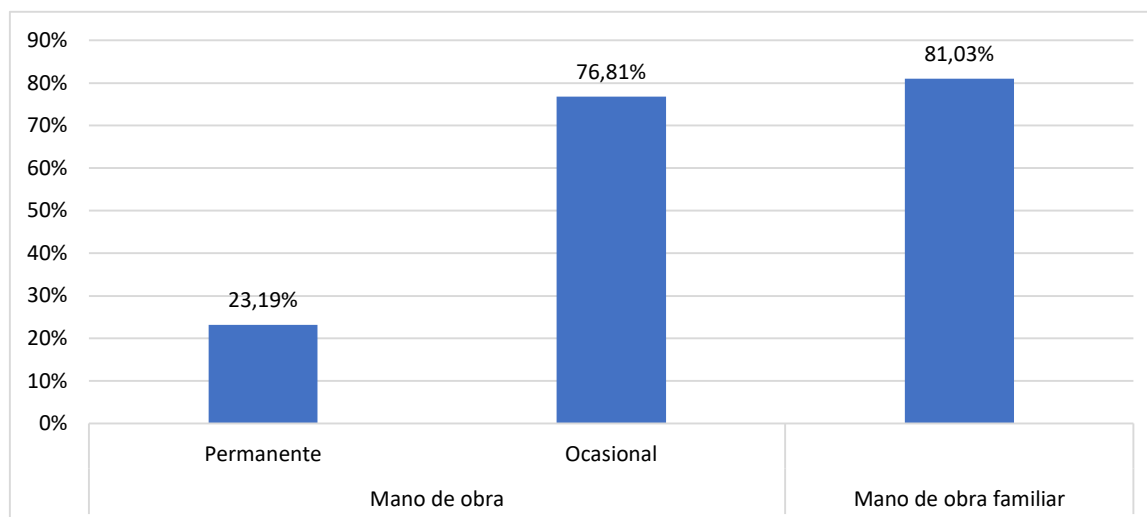


Figura 22. Tipo de mano de obra más usada.

Fuente: Elaboración propia

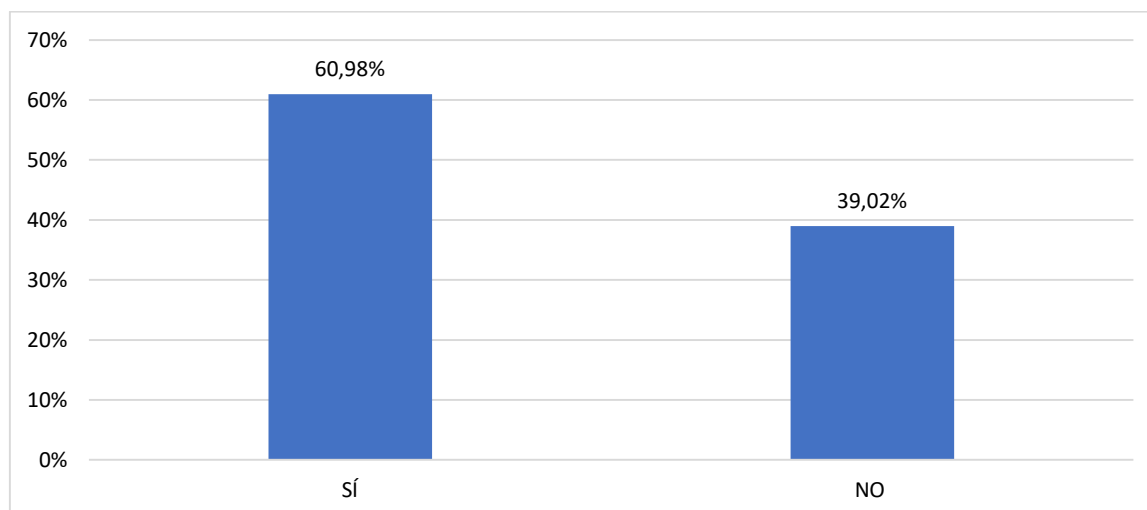


Figura 23. Remuneración de la mano de obra familiar.

Fuente: Elaboración propia

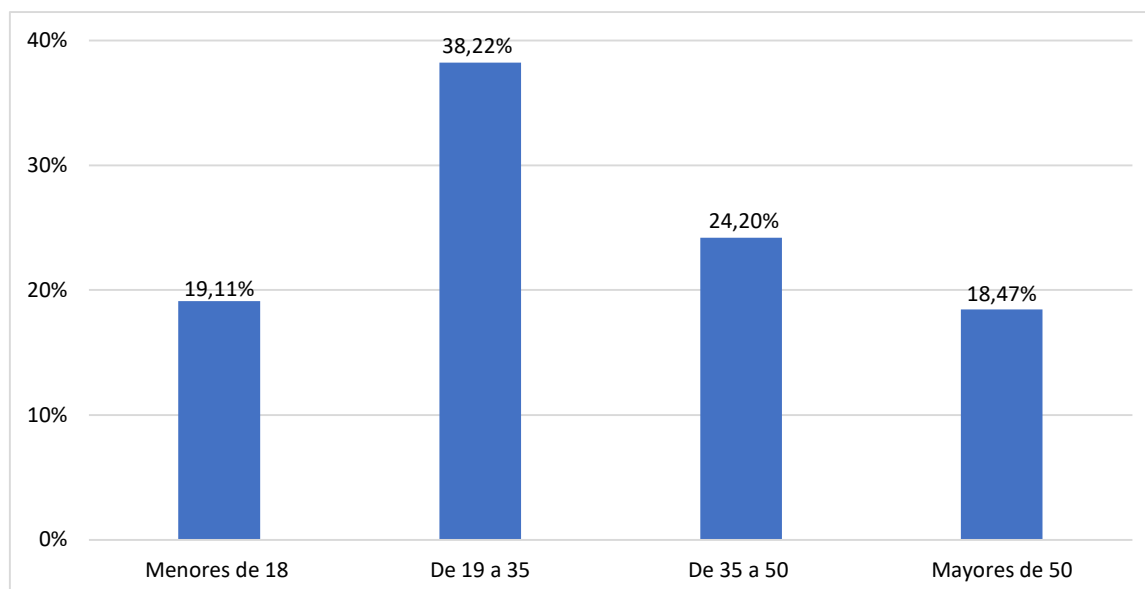


Figura 24. Rangos de edad de la mano de obra familiar.

Fuente: Elaboración propia

Acceso a crédito

Global Findex, del Banco Mundial, afirma que en promedio solo el 13 % de la población productora del sector agropecuario solicita crédito, y que el 75 % no tiene acceso a crédito formal, algunas de las principales causas de estas cifras son el bajo nivel de ingresos de los pequeños productores, poca experiencia en financiamiento y en uso de tecnologías para la realización de transacciones (Los desafíos del financiamiento..., 2016).

El 26,40 % de los productores afirma acceder a crédito para la producción agrícola, de este porcentaje el 75 % lo hizo a través del Banco Agrario, el 12,50 % con banca privada y el 12,50 % ha accedido a otro tipo de crédito (un familiar, gota a gota, en almacén de insumos, entre otros) (figuras 25 y 26).

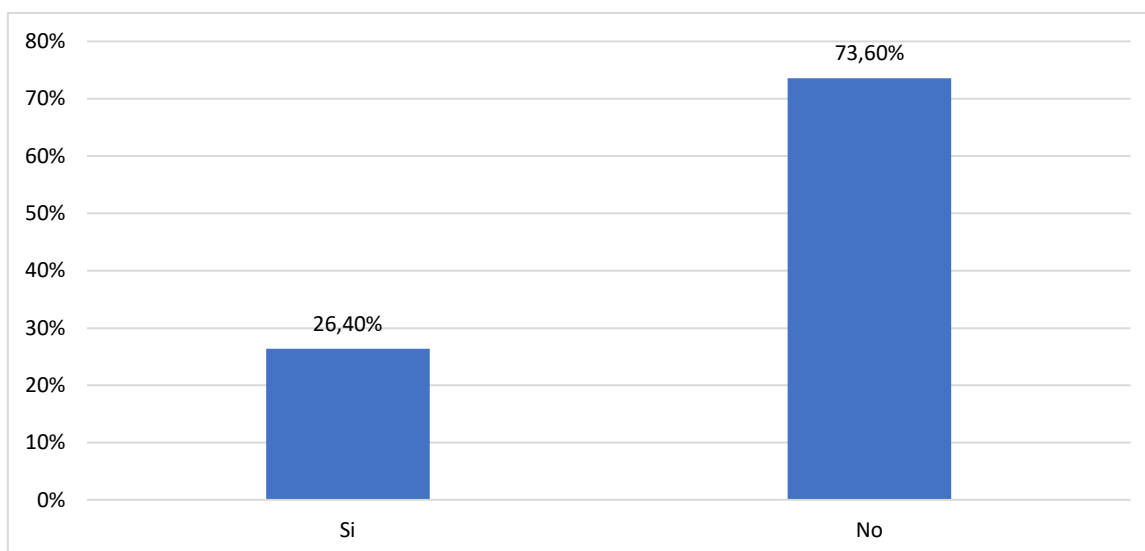


Figura 25. ¿Tienen acceso al crédito agropecuario?

Fuente: Elaboración propia

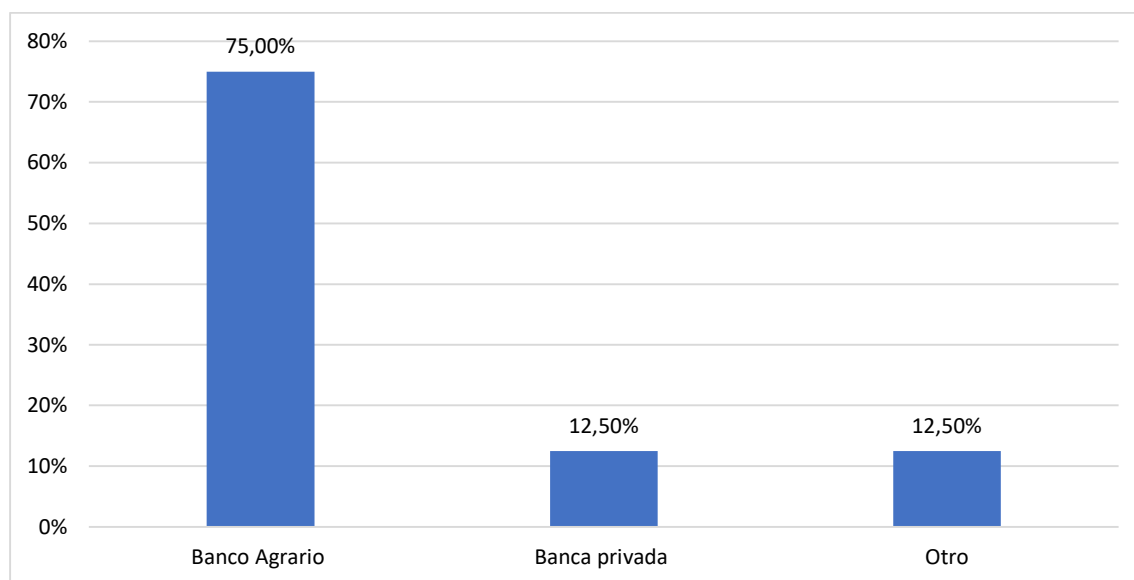


Figura 26. Entidad que ha hecho el crédito.

Fuente: Elaboración propia

El 48,04 % de los productores de los municipios estudiados asegura que no ha tenido acceso a un crédito porque exigen muchas garantías, al 12,75 % no se lo han aprobado, el 6,86 % presenta problemas por reportes en centrales de riesgo; muchos tienen sanas posesiones sin la legalización, predios familiares en los que no figuran, no tiene historial crediticio o bajos ingresos; el 22,55 % afirma no solicitarlo ya que los intereses son muy altos, y el 9,80 % no lo han solicitado porque no lo necesitan (figura 27).

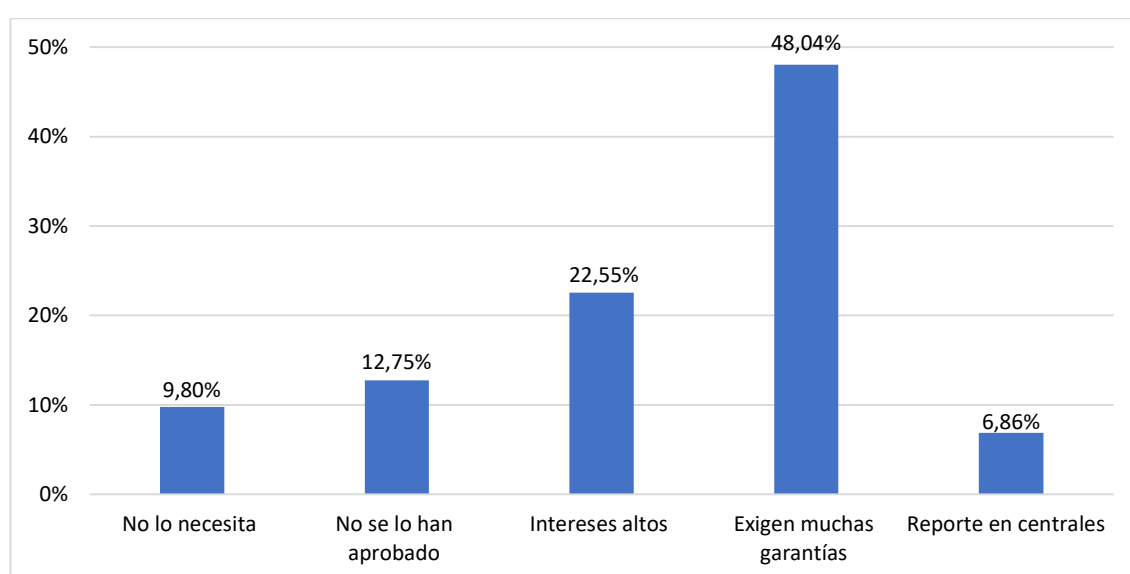


Figura 27. Razones por las que no ha tenido acceso o no ha solicitado crédito.
Fuente: Elaboración propia

Entorno social

El frijol común hace parte de la canasta básica de la base social del país. En este sentido, los consumidores de este segmento tienen mayor acceso a la proteína aportada por esta leguminosa que a la proteína animal. Se observa además una mayor tendencia de consumo en zona rural con 20 kg per cápita, respecto a la zona urbana con 17,5 kg per cápita. Sin embargo, más allá de su evidente consumo, el valor social del frijol está ligado al origen productivo y a su alta demanda de mano de obra local pues se produce, en el país y en general en Latinoamérica, bajo el esquema de agricultura familiar (Monserate, Pachón, Hyman, & Vesga, 2009).

Se han encontrado diferentes referencias donde se diagnostican los porcentajes de necesidades básicas insatisfechas tanto en los sectores urbanos como rurales, en las que se resalta que el departamento del Cesar, zona integrante del Caribe seco, presenta indicadores negativos por encima del referente nacional. Esta tendencia se incrementa en el diagnóstico de los pueblos ancestrales asentados en Cesar, La Guajira y Magdalena.

El Caribe seco, en general, es una zona consumidora de frijol y dependiente, especialmente la urbana, del suministro desde otras zonas del país o del frijol importado. Respecto a la zona rural y los municipios pequeños, el frijol hace parte de canales de autoconsumo, intercambio y mercados campesinos. Por ello, la biofortificación de este cultivo puede marcar una diferencia en las condiciones nutricionales de la zona, si se articula a estrategias apropiadas de divulgación, producción y acceso para los productores de semilla mejorada. Una mirada integral a la cadena de suministro de frijol en el Caribe seco no puede desconocer estos condicionantes, pues de esto depende la competitividad del eslabón primario (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [Corpoica], 2011).

A pesar de que el frijol común hace parte de la canasta básica de los departamentos que pertenecen al Caribe seco, allí 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. La competitividad del cultivo de frijol en el Caribe seco es baja. Las principales limitaciones de la competitividad en la zona están asociadas con los costos altos de producción, la variabilidad de los precios de compra, los derivados de la estacionalidad de las cosechas, la baja productividad por unidad de área (0,76 t/ha), inferior al promedio Nacional (1,23 t/ha) (MADR, 2016), la ausencia de variedades mejoradas registradas para la subregión, los costos económicos y ambientales elevados derivados de la baja tecnificación, y el manejo agrícola convencional. La vinculación de variedades mejoradas con tolerancia al déficit hídrico (340 mm desde siembra a inicio de llenado de vainas) disminuye los costos de producción, al requerir menores aplicaciones de riego y jornales para riego (Tofiño-Rivera, Pastrana-Vargas, Melo-Ríos, Beebe, & Tofiño-Rivera, 2016a).

Por otro lado, la región Caribe presenta otras necesidades respecto a la calidad nutricional de la oferta de alimentos. En el 2015 se encontró anemia en: 47,4 % de los niños preescolares, 40,9 % de las mujeres en edad fértil y 44,7 % de las embarazadas (Lissbrant, 2015). Frente a este aspecto, el frijol constituye una excelente opción para combatir la deficiencia nutricional, dado que contiene proteína, hierro y zinc, y está incluido en la canasta básica con un consumo per cápita de 2,8 kg/persona al año (BID & Gobernación del Atlántico, 2011). En el departamento de La Guajira, el frijol también está incluido dentro de los gastos básicos familiares e incluso hace parte de la gastronomía ancestral de algunas comunidades indígenas, como la wayuu que lo emplea en recetas como poi, y la arhuaca que realiza el festival del frijol (Ministerio de Cultura de Colombia, 2014).

A nivel tecnológico, el cultivo de frijol presenta gran cantidad de demandas, consignadas en el Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sector Agropecuario Colombiano (Pectia) en las líneas: Socioeconomía, inteligencia competitiva y desarrollo empresarial; y Transferencia de tecnología, asistencia técnica e innovación para la cadena de las hortalizas. En este sentido, en la primera línea mencionada se refleja la necesidad de realizar análisis de mercado y de competitividad, acorde con las tendencias locales y mundiales de los productos tradicionales y potenciales; así como llevar a cabo estudios relacionados con procesos agroindustriales, técnicas de fomento, rentabilidad del cultivo, modelos de negocios, tendencias del consumo, prospectiva de mercado y sistemas hortícolas en contextos territoriales. Es necesario, también, desarrollar la estandarización de los costos de producción y los procesos de comercialización de los productos hortícolas, la diferenciación de los productos de acuerdo con el sistema productivo, y la identificación de los nichos de mercado (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [Corpoica], 2016b).

Producción de frijol con enfoque étnico

El último Censo Nacional Agropecuario realizado incorpora un enfoque de diversidad étnica, con el que se busca ampliar el horizonte estadístico de la producción agropecuaria del país; además reconoce los grupos étnicos como sujetos de derechos constitucionales diferenciados, plurales, diversos y que

requieren una planificación, formulación y evaluación de políticas públicas propias de la actividad agropecuaria y las dinámicas rurales.

Ahora bien, desde el punto de vista productivo de las hortalizas en territorios de grupos étnicos, y sembrados dentro del área rural dispersa, el 58 % está destinada a cultivos de frijol, ahuyama, tomate, arveja, cebolla cabezona, cebolla larga y guatila. El frijol y la ahuyama son los cultivos predominantes en territorios de pueblos indígenas y el territorio ancestral raizal (figura 28).



Figura 28. Cultivos de hortalizas predominantes en territorios de pueblos indígenas.

Fuente: DANE, 2016

Etnias y agricultura familiar

Uno de los sistemas productivos de mayor impacto mundial es el de agricultura familiar, pues provee cerca del 80 % de los alimentos a nivel mundial (Guimarães, 2015). En el contexto internacional actual, la agricultura familiar se perfila como la mayor proveedora de alimentos que, en la mayoría de los casos, debido a los índices de baja tecnología, los posiciona como segmentos de baja emisión de carbono. Otros beneficios identificados corresponden a la conservación de recursos fitogenéticos, promoción de la diversidad genética en

fincas y la multifuncionalidad generadora de coproductos como forraje, biocombustibles y plantas medicinales, y la contribución a la soberanía alimentaria. Sin embargo, se presenta como debilidad el bajo nivel de inserción en los canales formales de mercado y la sujeción a esquemas de alta intermediación. En el caso específico de Latinoamérica y el Caribe, la agricultura familiar constituye el 81 % de los predios y es responsable del 77 % del empleo rural (Acevedo & Martínez, 2016; Salcedo & Guzmán, 2014).

En Colombia el 87 % del total de explotaciones agrícolas son de agricultura familiar o economía campesina, la cual llega a 737.000 unidades. Los países con más representatividad de agricultura familiar son Honduras (97,2 %), Paraguay (93 %), Chile (92 %), Guatemala (86 %) y Ecuador (84 %). El tamaño promedio de la explotación agrícola familiar en América Latina y el Caribe es de 13,6 ha (Salcedo & Guzmán, 2014). El promedio para Colombia es de 3 ha, 26 ha para Brasil y 23 ha para Chile (Maletta, 2011).

Según el Instituto Latinoamericano para una Sociedad y un Derecho Alternativos (ILSA), el aporte de la agricultura familiar a la producción agrícola de Colombia es también considerable. El 47 % del área total cosechada con cultivos transitorios y el 56 % del área cosechada con cultivos permanentes proviene de este tipo de explotaciones. Así mismo, su aporte a la producción pecuaria es también importante. Se estima que el 17 % del ganado bovino existente en el país pertenece a unidades familiares, siendo mayor su participación en el ganado con orientación a la producción de leche y doble propósito (25 %) que el de carne (12 %). Estas unidades poseían igualmente el 17 % de las aves, el 35 % de los cerdos y el 48 % de las especies menores (ovejas, cabras, conejos y cuyes) (Instituto Latinoamericano para una Sociedad y un Derecho Alternativos [ILSA], 2010).

Innovación tecnológica del cultivo de frijol para las etnias del Caribe seco

El Caribe seco es culturalmente una zona rica, en la que convergen asentamientos de etnias tan diversas como los koguis, arhuaco, kankuamo pertenecientes a la familia lingüística chibcha y wayuu, en la Sierra Nevada; los

yukpa, en Serranía del Perijá; los wiwa, tanto en la Sierra Nevada como la Serranía del Perijá, y los chimila, en las llanuras centrales de los departamentos de Magdalena y Cesar. Estos pueblos conservan su germoplasma ancestral de granos básicos como frijol, maíz y hortalizas, y sus sistemas tradicionales de siembra, basados principalmente en la producción de subsistencia. Sin embargo, este esquema de producción no permite la disponibilidad de alimentos para las comunidades durante todo el año, reflejándose en las altas tasas de mortalidad infantil, desnutrición crónica, baja ingesta de proteína, vitaminas y minerales en la primera infancia lo cual limita el desarrollo cognitivo y la salud. Aunque los pueblos ancestrales poseen guías propias respecto a sus intereses agroalimentarios, las etnias asentadas en la Sierra Nevada de Santa Marta como los arhuacos (figura 29a), koguis (figura 29b), wiwas y kankuamos, incluyen en sus pliegos de peticiones, al gobierno nacional, indicaciones respecto a la “soberanía alimentaria nutricional o SOAN”, y es un tema de alto interés para las autoridades indígenas dirigir acciones para garantizar a su comunidad este derecho natural (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2015).



Fotos: Adriana Patricia Tofiño

Figura 29. Etnias asentadas en la Sierra Nevada de Santa Marta. a. Arhuacos en capacitación de frijol; b. Arhuacos preparando sustrato para cultivo de micorrizas a utilizar en frijol y cacao; c. Koguis preparando sustrato para cultivo de micorrizas a utilizar en frijol y cacao.

Los sistemas productivos indígenas representan la complejidad de la interacción comunidad- producción-medioambiente en el marco de la supervivencia en la que convergen los sistemas agropecuario, forestal, pesquero y de extracción de

recursos silvestres. Esta estrategia puede considerarse adaptativa, pues la importancia relativa de sus componentes cambia en la medida de la disponibilidad de los recursos del entorno. Sin embargo, para muchas comunidades, el eje central productivo se enfoca en la chagra con características de subsistencia, asistida por mano de obra familiar o comunitaria (Arango, 2004).

De acuerdo con lo anterior, AGROSAVIA plantea la oferta de variedades mejoradas de frijol a las etnias asentadas en la subregión, con mayor contenido nutricional, mayor productividad por área, menor consumo de agua y tolerancia a la variabilidad climática, con la expectativa de complementar los recursos genéticos ancestrales, no de sustituirlos y así mejorar la oferta de alimentos autóctonos durante todo el año para las comunidades. La integración de estas variedades debe incluirse en sistemas productivos armónicos con la cosmovisión de las comunidades, maximizando la biodiversidad vegetal por área y la producción orgánica, que excluye por principio el uso de productos de síntesis química. El sistema de arreglo espacial multiestrato para el cultivo de frijol, se considera como una opción para facilitar la adopción por las etnias. Sin embargo, la vinculación tecnológica con las comunidades indígenas se constituye como el principal reto (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [Corpoica], 2016c).

Para conseguir una mayor adopción del manejo integrado del cultivo de frijol con las comunidades indígenas es necesario conocer la explicación cultural de las prácticas tradicionales de manejo y así ensamblar unas recomendaciones que incluyan aspectos ancestrales y los combinen con los ajustes técnicos, para que mejoren la productividad en armonía con los principios de la agroecología. La diversificación productiva y dentro de esta los huertos mixtos, constituyen una estrategia para enfrentar los riesgos de depender de pocos productos y las variaciones en los precios de los mercados, visto desde una agricultura con generación de excedentes por las comunidades indígenas (Franco & Valero, 2012).

La vinculación tecnológica con estas comunidades debe abordarse a partir de medios de transferencia verbales, tanto en español como en lengua ancestral, y con el uso de los diferentes medios de comunicación en los pueblos indígenas (impresos, radiales, televisivos u otros). Se han desarrollado complejas reflexiones en torno a la autorrepresentación indígena que les ayuda en la apropiación de

nuevas tecnologías, la defensa de su visión de territorio, la educación, la salud, la lengua, la cultura y la identidad. La realización de videos, animaciones multimedia, programas de radio, cuadros sinópticos, esquemas y representaciones, permitiría atender un estrato poblacional por fuera del ámbito de las estrategias tradicionales de transferencia de tecnología (Bello-Bravo, Olana, & Pittendrigh, 2015; Córdoba, 2011).

Etnias del Caribe seco

Los kogui

Los indígenas kogui habitan la vertiente del Guatapurí, en la Sierra Nevada de Santa Marta, en la jurisdicción de los departamentos de Magdalena, Cesar y La Guajira, distribuidos desde Santa Marta hasta San Juan del Cesar (Observatorio del Programa Presidencial de Derechos Humanos y DIH, s.f.). Los koguis cultivan una gran variedad de productos; y utilizan una tecnología simple conformada por cavadores de madera, machete y el hacha para plantar un sin número de productos como papa, yuca, batata, cebolla, ñame, arracacha, múltiples variedades de maíz, guandul, diversas especies de frijol, naranjas, aguacates, plátanos y bananos, y otros productos como caña de azúcar, café y hortalizas. Estos cultivos se plantan sin un patrón regular y mezclados en huertos preparados mediante el procedimiento conocido como de "tumba y quema", en las laderas de las montañas. Por su parte, los animales domésticos vacunos, lanares, caballares y aves de corral que forman parte de la economía y la vida de los koguis están en detrimento, debido a la cacería de animales salvajes y la pesca, dos áreas de producción que hoy se encuentran en desuso por esta comunidad (Organización Nacional Indígena de Colombia [ONIC], s.f.a).

Los wiwa

La etnia wiwa (o arzario) está asentada tanto en la Sierra Nevada como en la Serranía del Perijá, en los municipios de Dibulla, San Juan del Cesar y Riohacha en La Guajira, en Valledupar y Becerril en Cesar y Santa Marta, en el departamento de Magdalena. El Censo del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2008) reportó 10.703 personas autorreconocidas como pertenecientes al pueblo Arzario (wiwa), de las cuales el 50,8 % son hombres (5.433 personas) y el 49,2 % mujeres (5.270 personas). Están ubicados en la Sierra Nevada de Santa Marta, en la cuenca alta de los ríos

Rancherías, Cesar y Badillo. Sin embargo, una menor fracción está en la Serranía del Perijá, en la jurisdicción de Becerril, Cesar. La actividad económica principal de los wiwas es la agrícola, con la siembra de frijol, batata, piña, calabaza, malanga, café, arroz y ají, además de la cría de animales de corral y cerdos. El café es usado como cultivo comercial. La venta de animales domésticos, ganado bovino y jornaleo, también ocupa un renglón importante dentro de su economía (Organización Nacional Indígena de Colombia [ONIC], s.f.b) (figura 30).



Foto: Adriana Patricia Tofiño

Figura 30. Etnia wiwa en San Juan del Cesar (La Guajira), en gira por San Juan del Cesar al CI Motilonia.

Los arhuacos

Otra etnia ubicada en el Caribe seco es la arhuaca. Para este pueblo el cultivo del frijol tiene un gran arraigo cultural, de tal forma que los arhuacos celebran la cosecha de los frijoles. Los arhuacos están ubicados en la Sierra Nevada de Santa Marta, principalmente en el departamento del Cesar, donde se encuentra el 50 % (28.055) de la población. Otro aspecto que se destaca es que más de la mitad de la población tiene baja o ninguna capacidad en lectoescritora (10.107 personas), con una afectación ligada al género, pues en su mayoría son las mujeres quienes no cuentan con dicha capacidad (Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Refugiados [ACNUR], 2011).

Los yukpa

El pueblo indígena yukpa se localiza en la Serranía del Perijá, especialmente en los municipios de Becerril y Codazzi. La lengua yukpa-japrería (*yupe, yupa, yuko, yucpa, motilón*) se habla al pie de la Serranía de Perijá en Colombia, en zonas protegidas (Iroka) y en los asentamientos Menkue, La Bodega y El Vallito; así como en la parte septentrional de la Cordillera oriental, a lo largo de la frontera entre Colombia y Venezuela. Al igual que lo observado en otras etnias de la región, la baja capacidad lectoescritora (2.600 personas) tiene enfoque de género, pues corresponde principalmente a mujeres. Su forma de subsistencia principal es a través de la siembra, la caza, la pesca, la recolección y la naciente ganadería. El manejo de los cultivos no difiere al referido para los kogui (Arango, 2004).

Los kankuamos

La etnia kankuamo está asentada en la Sierra Nevada de Santa Marta, en el departamento del Cesar, entre los ríos Badillo y Guatapurí. Sus actividades económicas están ligadas a las artesanías como la elaboración de mochilas, la fabricación de panela, el cultivo de café y las actividades agrícolas en general (ACNUR, 2011).

Los wayuu

La etnia wayuu está asentada a lo largo de todas las ecorregiones del departamento de La Guajira y sobre la Sierra Nevada, en los departamentos del Cesar y Magdalena, y se extienden hasta la zona del Zulia en Venezuela. El 61 % de los wayuus son analfabetas, de lo cual la mayoría son mujeres. La población wayuu se concentra en el departamento de la Guajira, en donde habita el 98,03 % de 270.413 personas registradas. En cuanto al estado de la lengua nativa, un 85,25 % de hablantes (230.514 personas), sobre el total poblacional, evidencian un alto grado de pervivencia. Las mujeres representan la mayoría en este indicador con el 51,14 % (117.894 personas). La precisión respecto al área de influencia de este pueblo es compleja pues sus asentamientos, en algunos casos, se reacomodan de acuerdo con la oferta de forraje. Las principales actividades económicas realizadas por esta etnia corresponden a la pesca, el pastoreo y el cultivo de especies transitorias (yuca, maíz) y hortícolas (frijol, ahuyama, pepinos, melones y sandías), donde predominan las variedades y razas ancestrales, conservadas de generación en generación (FAO, 2015).

Los chimila

Finalmente, los chimila que estuvieron al borde de la extinción debido a la carencia de una zona de resguardo, se encuentran ubicados principalmente en los municipios de San Ángel y Santa Marta en Magdalena. Esta comunidad tiene menos de mil individuos y ha sido objeto de impacto por el conflicto armado en la zona del Ariguaní y en este momento es objeto de restauración de su identidad y arraigo cultural (ACNUR, 2011).

Sistema de agricultura familiar y étnico, con arreglo multiestrato: cultivo principal, frijol

Para la producción de hortalizas con enfoque étnico y de agricultura familiar, se propone un modelo productivo de frijol en arreglo multiestrato, en el que se apliquen criterios técnicos en la selección de especies, utilización de los residuos de producción agropecuaria, uso apropiado del agua y adecuadas labores culturales como oferta tecnológica alcanzada a partir de los resultados previos de investigación en el cultivo de frijol. Este arreglo promueve la calidad del suelo y se ajusta a las Buenas Prácticas Agroecológicas (Sánchez, Prager, Naranjo, & Sanclemente, 2012)

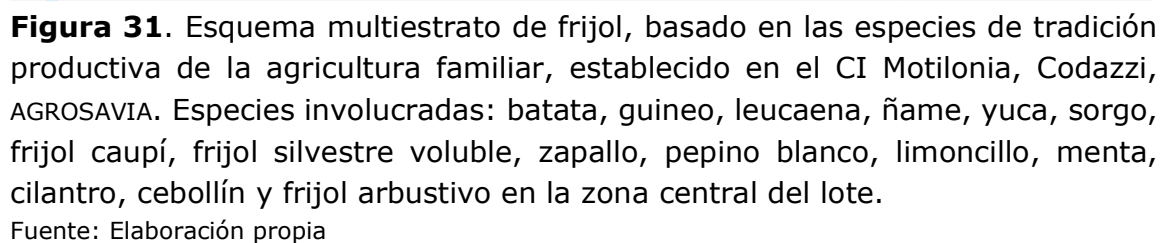
Estos arreglos multiestrato poseen grandes ventajas al contar con atributos de diversidad vegetal y la elevada oferta de residuos vegetales que actúan como cobertura del suelo, incrementando el potencial de amortiguación del efecto del cambio climático sobre la disponibilidad de alimentos (Negreros-Castilla & De Clerk, 1999; Piguet, Pécoud, & de Guchteneire 2011).

Un arreglo multiestrato es una variante de un sistema agroforestal, en el que interactúan el componente arbóreo o arbustivo, con las herbáceas u hortalizas, etc. Los sistemas agroforestales se han presentado como una alternativa para mejorar la productividad en zonas cálidas, al incrementar la cobertura del suelo, lo que disminuye la erosión hídrica y eólica (Ballesteros & Musalem, 2003); además, genera un microclima que disminuye la alta irradiancia en zonas cercanas al Ecuador terrestre, amortigua la desecación del viento, la pérdida del agua en el agroecosistema, y disminuye la presión de plagas y enfermedades (Del Cura, Quintero, & Rosas, 2015).

En cuanto al cultivo de frijol, una de las principales ventajas que presenta la producción de este en arreglo multiestrato es la resiliencia. El término resiliencia se refiere a la propiedad de un sistema en volver o conservar su organización y nivel de producción después de sufrir un estrés de características variables en intensidad o duración. Especialmente, la vinculación del estrato arbóreo provee a los sistemas agroforestales en arreglo multiestrato, la mitigación de los efectos de la sequía. En general, los sistemas agroforestales maximizan el uso del agua, los fertilizantes, mejoran la sanidad y el uso de la tierra (Del Cura et al., 2015).

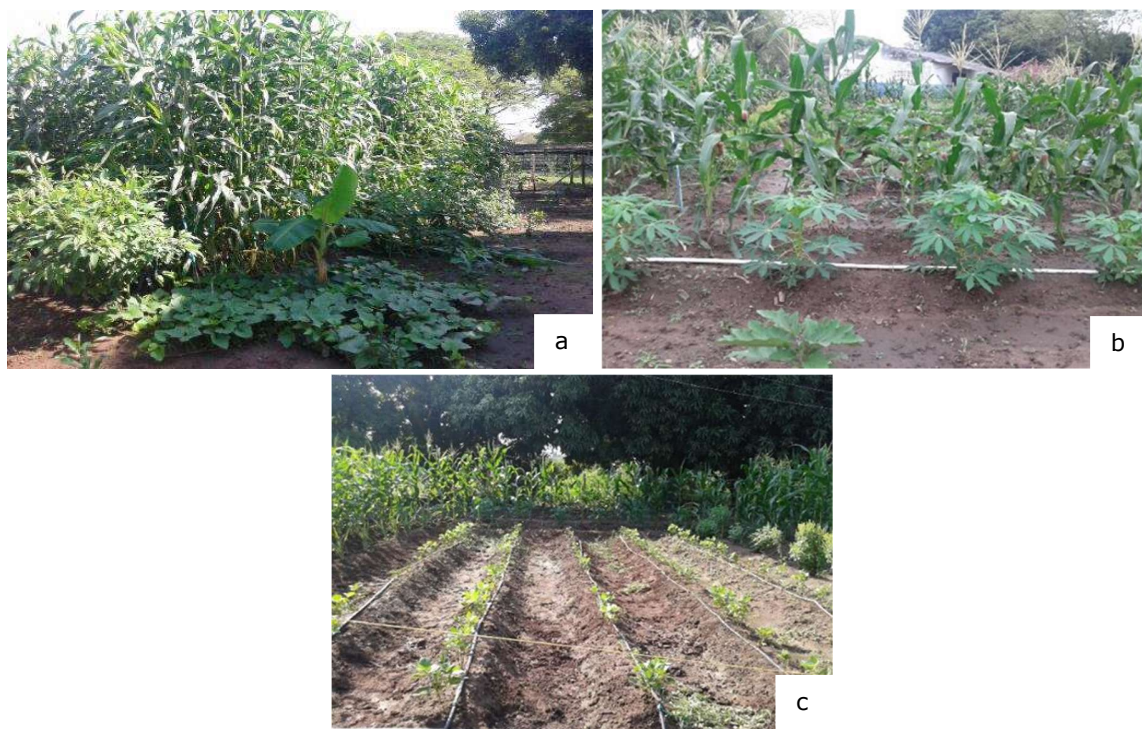
En evaluaciones realizadas por AGROSAVIA, en el año 2016, se encontró que el frijol establecido en sistema multiestrato en Codazzi, Cesar, a 120 m. s. n. m., produjo experimentalmente 800 kg/ha, mientras que, en condiciones de monocultivo, en años anteriores, se había alcanzado 150 kg/ha en materiales experimentales tolerantes a calor, provenientes del programa de mejoramiento de frijol del CIAT (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [Corpoica], 2014). Adicionalmente, la incidencia de plagas y enfermedades no exigió la aplicación de agroinsumos, la presencia de pequeños focos se manejó mediante preparaciones tradicionales de repelentes y control biológico basados en neem, ají y otros extractos en mezcla con jabón (Corpoica, 2016c).

En otras ecorregiones se han sistematizado y evaluado algunas prácticas campesinas del norte del departamento del Cauca para propuestas de policultivo, en las que los frutales como guayaba, cítricos y otros estratos arbóreos se integran a cultivos de pan coger como batata, frijol y especies aromáticas (Ospina, 2005). De igual forma, se han registrado efectos positivos de los policultivos de aromáticas, respecto a la sanidad de cultivos de frijol y hortalizas (Montes-Rojas & Paz-Concha, 2015; Oliveira, Castro, & Vasconcelos, 2011). Los arreglos multiestrato se evaluaron en Codazzi con berenjena, ají y frijol como cultivos principales, la composición propuesta de especies buscó producir alimento para el sistema animal (estrato arbóreo y sorgo forrajero), que hace parte de la agricultura familiar de la región; también se evaluó el consumo de la familia para contribuir a la seguridad alimentaria y el cuidado tradicional de la salud (cultivos barrera de pan coger y aromáticas), y la producción comercial de hortalizas con estándar de calidad (frijol o ají o berenjena) (figura 31). Estos modelos se socializaron exitosamente con asociaciones indígenas wiwa, wayuu y arhuacas (Corpoica, 2016c).



Se plantea el anterior arreglo espacial para los diferentes componentes del sistema; como se observa, la especie hortícola (ají o frijol o berenjena) se encuentra en el centro, dispuesta en surcos, rodeada de especies aromáticas y condimentarias que aportan beneficios en el control natural de plagas importantes en estos cultivos, además estas especies pueden generar ingresos adicionales mediante su comercialización. Las gramíneas maíz o sorgo tienen funciones de barrera frente a la desecación de los vientos alisios del noreste y frente a la mosca blanca. Sin embargo, dentro de la funcionalidad del sistema se sugiere maíz, con el objetivo de contribuir en mayor medida a la seguridad alimentaria y/o generación de ingresos de la familia. Las leñosas arbustivas se ubican dentro del sistema con el principal objetivo de contar con una fuente permanente y manejada de forraje para completar la alimentación de los animales; entre las leñosas arbustivas se encuentra la leucaena (*Leucaena leucocephala*), el totumo (*Crescentia cujete*) y el trupillo (*Prosopis juliflora*). Por su parte, el Guandú (*Cajanus cajan*) actúa como barrera, proporciona forraje y sus legumbres pueden emplearse para consumo humano. Luego se incluyen las especies de pan coger (plátano, yuca, ñame, pepino blanco, cebollín, frijol caupí, zapallo, cilantro) en el arreglo, dado que estos productos pertenecen a la dieta común de la familia y poseen plantas de esta especie en el área que se intervendrá. El frijol voluble silvestre y los residuos del sorgo no aprovechables por los animales se destinan como cobertura del suelo para evitar el predominio de arvenses. Finalmente deben ir las especies aromáticas como limoncillo, albahaca y menta, las cuales diversifican el ingreso del productor por su venta semanal en fresco, facilitan el cuidado de la salud de la familia y cumplen con la función ecosistémica de atraer a la entomofauna benéfica y los polinizadores que mejoran la productividad del sistema.

El control de los focos de plagas se controla con soluciones jabonosas enriquecidas con extracto de semillas de Neem 20 g/Lt, y las enfermedades, con soluciones de Trichoderma aplicados a la base de la planta y en el tejido foliar, utilizando soluciones de producto comercial a razón de 100 g/bomba de 20 Lt (Corpoica, 2016c) (figura 32).



Fotos: Sandra Perdomo y Carina Cordero

Figura 32. Arreglo multiestrato basado en frijol. a. Contorno exterior; b. Zona intermedia; c. Zona interna.

Capítulo III

Origen, taxonomía, clasificación, descripción botánica y fenología

Origen del frijol

El cultivo del frijol tiene una antigüedad de 5.300 años a. C. y comprende unas 180 especies, todas provenientes del nuevo mundo (Singh & Voysest, 1997). El interés del ser humano por esta leguminosa hizo que las selecciones realizadas por culturas precolombinas, a lo largo de Mesoamérica y Suramérica, originaran un gran número de formas diferentes; es por ello que el frijol se conoce con diversidad de nombre (Debouck & Hidalgo, 1985). Desde inicios de la conquista española se llevó el frijol a Europa y posteriormente los portugueses lo introdujeron en varios países africanos (Fenalce, 2010).

El proceso de domesticación del frijol hizo que se redujera la diversidad genética por el fenómeno denominado “cuello de botella de la domesticación”, lo cual representa una disminución en la variabilidad genética del ancestro silvestre, frente a la especie cultivada, debido a que la selección se realizó sobre unos pocos individuos cuya mezcla de genomas fundaron la especie domesticada (Kwak & Gepts 2009; Ladizinsky, 1998; Papa & Gepts, 2003).

Los reportes iniciales sobre el proceso de domesticación del frijol refieren el ancestro silvestre en Mesoamérica (Blair et al., 2012). Sin embargo, posteriormente se indicó que existían procesos de domesticación simultáneos en Mesoamérica y Suramérica, y recientemente se indicó que Colombia sería un punto de encuentro y mezcla de las especies domesticadas en Mesoamérica y Suramérica, encontrándose faseolinas específicas que prueban el proceso de mezcla. Los grupos de domesticación mesoamericano y andino presentan diferencias a múltiples niveles (morfológico, bioquímico y molecular), y también respecto a la diversidad genómica. Esta diferenciación se extiende inclusive al nivel conceptual de especie biológica, pues la refieren los cultivares y sus silvestres relacionadas (Papa, Nanni, Sicard, Rau, & Attene, 2006).

Taxonomía y clasificación

La taxonomía hace parte de la biología sistemática que busca establecer las relaciones de parentesco de una especie, de acuerdo con su filogenia y sus ramas evolutivas. Inicialmente, la taxonomía se basó en la comparación de los rasgos morfológicos de los vegetales y las características de la morfología reproductiva fueron el factor diferenciador entre grupos. Sin embargo, con el avance de la bioinformática, la biología molecular, la citogenética y, en general, las técnicas ómicas, se han replanteado y complementado las clasificaciones de muchas especies obtenidas a través de sus similitudes y diferencias morfológicas.

Por ejemplo, en la familia solanáceas se replanteó la clasificación del tomate de árbol de *Cyphomandra betacea* a *Solanum betaceum*, basado en evidencias ofrecidas por las herramientas ómicas (Bedoya-Reina & Barrero, 2009).

En el caso de *Phaseolus*, la mayoría de los estudios de diversidad morfológica han sido enfocados a la clasificación entre especies y al estudio de sus diferencias en una escala geográfica amplia, principalmente en *P. vulgaris*. Aunque a diferencia de lo referido en *Solanum*, las evidencias citogenéticas, bioquímicas y moleculares, reafirmaron lo definido en la taxonomía clásica para *P. vulgaris* y facilitaron la definición de razas al interior de cada uno de los acervos que se identificaron como centros de domesticación (mesoamericano y andino). Lo anterior es consistente con la gran diversidad morfológica y de su reacción a estreses bióticos y abióticos, encontrados en cada acervo (Castillo Mendoza, Ramírez Vallejo, Castillo González, & Miranda Colín, 2006). Sin embargo, al nivel de tribu, aún subyacen algunas dudas respecto a la diferenciación por sus características de morfología floral entre genotipos de *Vigna* y *Phaseolus*, donde la morfología de polen ha arrojado consideraciones importantes respecto a su correcta diferenciación (Beyra & Reyes Artiles, 2004) (figura 33).

Reino	•Plantae
División	•Magnoliophyta
Clase	•Magnoliopsida
Orden	•Fabales
Familia	• Fabaceae
Subfamilia	•Papilionoidene
Tribu	•Phaseoleae, Phaseolinae
Género	• <i>Phaseolus</i>
Especie	• <i>P. vulgaris</i>

Figura 33. Taxonomía del frijol común.

Fuente: Adaptado de Singh & Voysest (1997).

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es la especie más importante dentro del conjunto de las leguminosas de grano. Al género americano *Phaseolus* corresponden 50 especies, de las cuales solo cuatro son de importancia económica: *Phaseolus vulgaris*, *Phaseolus coccineus*, *Phaseolus lunatus*, *Phaseolus acutifolius*; de estas, el frijol común, *Phaseolus vulgaris*, es el de mayor interés económico, por ser un cultivo que se desarrolla en regiones templadas y tropicales (Singh & Voysest, 1997).

Descripción botánica

Sistema radical

A partir de la radícula del embrión (figura 34), se genera la raíz principal de la planta, que debido a un proceso de diferenciación produce raíces secundarias, terciarias y pelos absorbentes, responsables de la nutrición mineral, ubicados

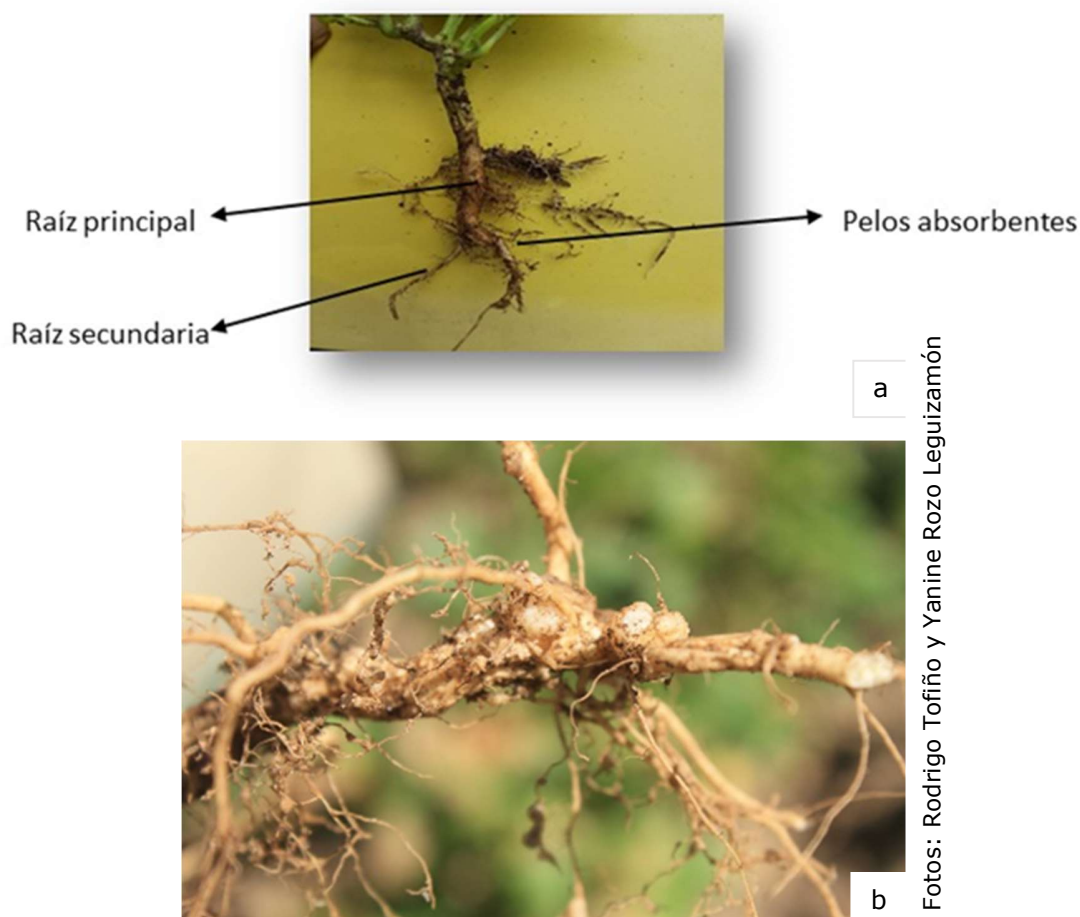
principalmente en los 30 cm de la zona más superficial del suelo. La arquitectura radical, sin embargo, es variable de acuerdo con la variedad y el tipo de suelo donde se establezca el cultivo como estructura, porosidad, nutrición, aireación, entre otras (Ospina & Debouck, 1980; Debouck & Hidalgo, 1985).



Foto: Luis Fernando Gómez

Figura 34. Radícula del embrión de frijol.

En las plantas de *Phaseolus vulgaris* L. se presenta nodulación en las raíces laterales de la parte media y superior (figura 35a y 35b), colonizados por bacterias del género *Rhizobium*, fijadoras de nitrógeno atmosférico que contribuyen así a la satisfacción del requerimiento de este elemento (Debouck & Hidalgo, 1985). Sin embargo, algunos agroinsumos pueden afectar la simbiosis efectiva (García, 2013).



Fotos: Rodrigo Tofiño y Yanine Roza Leguizamón

Figura 35. Asociación raíz de frijol común-*Rhizobium*. a. Raíz de frijol completamente conformada; b. Nodulación en raíz de *Phaseolus vulgaris* L.

Tallo

Teniendo como origen el meristemo apical del embrión de la semilla, se forma el tallo como eje central de la planta, configurado por la sucesión de nudos y entrenudos; los nudos son el punto de inserción de las hojas o de los cotiledones del tallo (figura 36). El tallo es herbáceo, con sección cilíndrica o levemente angular, su diámetro generalmente es mayor que las ramas y, según su hábito de crecimiento puede ser erecto, semipostrado y postrado (Debouck & Hidalgo, 1985).



Foto: Yanine Roza Leguizamón

Figura 36. Tallo de planta de frijol *Phaseolus vulgaris* L.

Hábitos de crecimiento

La arquitectura de la planta de frijol *Phaseolus vulgaris* L. es el resultado de la interacción de varios caracteres, influenciados algunos de ellos por el ambiente. Desde el punto de vista morfoagronómico, estos caracteres son el tipo de desarrollo de la parte terminal del tallo que puede ser determinado o indeterminado y definen la cantidad de nudos, la longitud de los entrenudos, la altura de la planta, su aptitud para trepar, el tipo de ramificación y la guía como parte del tallo que sobresale de las ramas (Rosas, 2003).

Tipo I. Determinado arbustivo

El tallo y las ramas terminan en una inflorescencia desarrollada, que al expresarse detiene el crecimiento del tallo principal o las ramas (figura 37). Presenta tallo fuerte, entre 5 y 10 entrenudos, una altura entre 30-50 cm, pero pueden presentarse plantas de menor altura, etapa de floración corta y maduración de vainas casi uniforme (Debouck & Hidalgo, 1985).

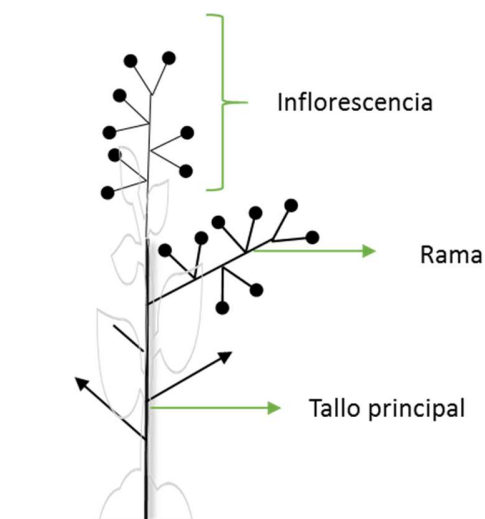


Figura 37. Hábito de crecimiento determinado arbustivo.

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

Tipo II. Indeterminado arbustivo

Terminan en una guía corta, aunque no cuentan con aptitud para trepar, tallo erecto, pocas ramas y generalmente cortas con relación al tallo (figura 38). El número de nudos promedio es de 12, y continúan su crecimiento durante la etapa de floración, pero a menor velocidad (Debouck & Hidalgo, 1985).

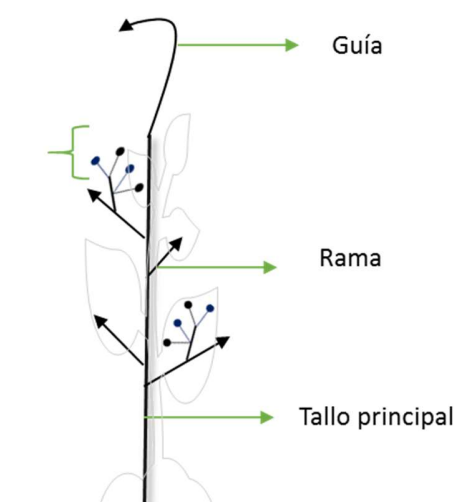


Figura 38. Hábito de crecimiento indeterminado arbustivo.

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

Tipo III. Indeterminado postrado

Plantas con ramificación bien desarrollada, altura generalmente mayor a 80 cm, plantas postradas o semipostradas, mayor número de ramas a las plantas tipos I y II, mayor longitud entre nudos y el tallo, y las ramas terminan en guías, y pueden presentar aptitud trepadora si cuentan con algún tipo de soporte (Debouck & Hidalgo, 1985). La maduración de las vainas es menos uniforme (figura 39).

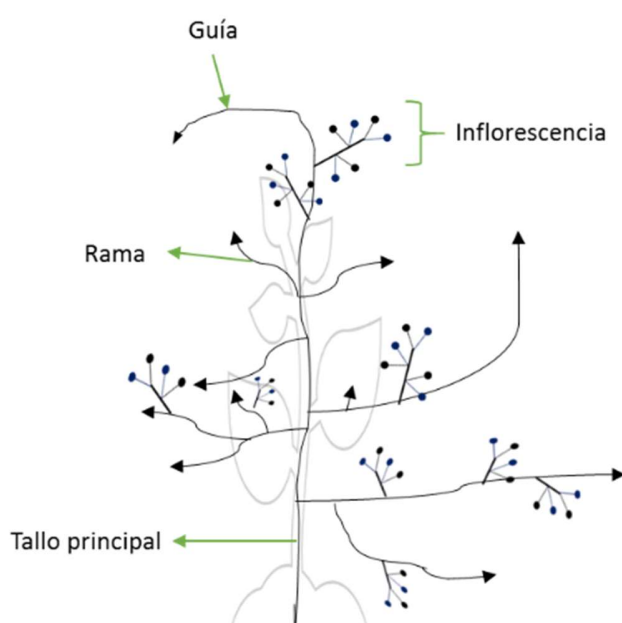


Figura 39. Hábito de crecimiento indeterminado postrado.

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

Tipo IV. Indeterminado trepador

Planta de hábito trepador, en la que a partir de la primera hoja trifoliada el tallo desarrolla doble capacidad de torsión. Pueden alcanzar 2 metros de altura, con ramas cortas, y el tallo puede tener entre 20 a 30 nudos. La planta requiere un soporte o tutorado adecuado. La etapa de floración es más larga que los demás hábitos, y se presenta al mismo tiempo floración, formación, llenado de vainas y maduración (figura 40) (Debouck & Hidalgo, 1985).

El frijol, por ser una planta de ciclo corto, requiere un manejo agronómico ágil para controlar los tipos de estrés bióticos y abióticos, que se presentan durante

el desarrollo de la planta y la programación de labores culturales, para que se atiendan a tiempo las necesidades previstas del cultivo. Debido a lo anterior, es necesario conocer cuál es el ciclo de vida de la planta y sus momentos críticos, es decir los momentos en los cuales la ausencia de una intervención oportuna afectará el rendimiento y la calidad del grano.

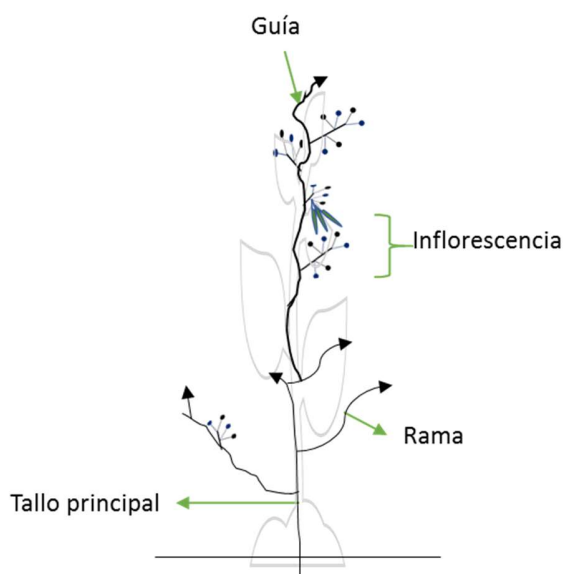


Figura 40. Hábito de crecimiento indeterminado trepador.

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

El ciclo biológico de la planta de frijol se divide en dos fases sucesivas: la fase vegetativa y la fase reproductiva. La fase vegetativa se inicia cuando la semilla dispone de los requerimientos necesarios para germinar, y termina cuando aparecen los primeros racimos. En esta fase se forma la mayor parte de la estructura vegetativa que la planta necesita para iniciar su reproducción. La fase reproductiva comienza desde el momento de la aparición de los racimos hasta la madurez de la cosecha; sin embargo, para el caso de las plantas de frijol de hábito de crecimiento indeterminado, continúa la aparición de estructuras vegetativas como tallos, flores y hojas, aun cuando ya ha terminado la fase vegetativa. En el frijol se distinguen 10 fases en su ciclo fenológico, siendo la etapa de floración y llenado de vainas críticas en el suministro de riego,

nutrientes efectivamente disponibles y control sanitario (Hernández, Hernández, Soto, & Pino, 2010; Tamayo, Aguilar, & Velásquez, 2013) (figura 41).

En las plantas de frijol pueden identificarse, además, características morfológicas que lo diferencian de otras especies leguminosas. Tales características se mencionan a continuación de manera detallada.

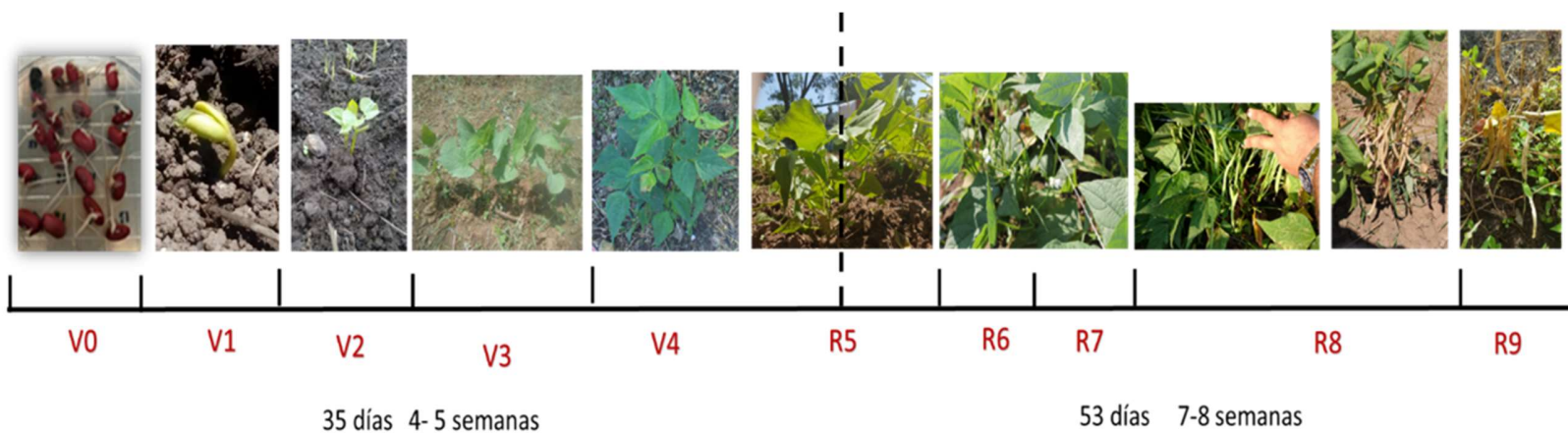


Figura 41. Ciclo fenológico de la variedad de frijol Corpoica Rojo-39, en el Caribe seco colombiano.

Fuente: Elaboración propia

Ramas

Las ramas se forman en el tallo, derivadas de las yemas ubicadas en las axilas, (Arias et al., 2007). A este complejo se le denomina axilar, conformado principalmente por tres yemas que se hacen visibles desde el inicio, y del cual se pueden desprender ramas al igual que inflorescencias, según el hábito de crecimiento (figura 42) (Debouck & Hidalgo, 1985).



Foto: Griselda Gómez

Figura 42. Formación de ramas.

Hojas

La planta de frijol presenta hojas de dos tipos: simples y compuestas insertadas en los nudos del tallo y las ramas. En el segundo nudo del tallo aparecen las hojas primarias simples, formadas a partir de la semilla durante el proceso germinativo. Sin embargo, sufren abscisión antes de que la planta complete su desarrollo. A los 15 días, en promedio, se forman las primeras hojas trifoliadas, en las que se pueden identificar un par de bractéolas, un raquis y tres folíolos. La forma y tamaño de los folíolos es variable y está relacionado con el acervo, al cual pertenece el cultivar (figura 43) (Debouck & Hidalgo, 1985). Las hojas presentan también variación en el color y la pilosidad, generalmente relacionadas con la variedad, la posición de la hoja en la planta y la edad (Ospina & Debouck, 1980).



Foto: Yanine Roza Leguizamón

Figura 43. Hojas. Complejo axilar.

Inflorescencia

En frijol común se registran dos tipos de inflorescencias: axilares o terminales generados a partir de un conjunto de tres yemas. El racimo de flores principal está compuesto por conjuntos de racimos, en los que se identifican los botones florales, las brácteas, el raquis y el pedúnculo (Debouck & Hidalgo, 1985).

Flor

La flor del frijol es una típica flor papilionácea y en su proceso de desarrollo se pueden distinguir dos estados: el botón floral y la flor completamente abierta (figura 44). De modo independiente a la yema, a partir de la cual se desarrolle el botón, se encuentra completamente protegido por una bráctea, solamente cuando el botón se desarrolla completamente sobresalen las bractéolas (Debouck & Hidalgo, 1985).



Foto: Yanine Rozo
Leguizamón

Figura 44. Flor papilionácea de frijol *Phaseolus vulgaris* L.

Fruto

El fruto es una vaina con dos valvas, las cuales provienen del ovario comprimido. Puesto que el fruto es una vaina, esta especie se clasifica como leguminosa. Las vainas se pueden ubicar según la variedad, a lo largo del tallo principal, concentradas en su zona media o dispersas tanto en ramas principales como en secundarias (figura 45a) y, además, se presenta diversidad de colores al interior de la especie. Dos suturas aparecen en la unión de las valvas: la sutura dorsal, llamada placentar, y la sutura ventral (figura 45b). Los óvulos, que son las futuras semillas, alternan en la sutura placentar (Debouck & Hidalgo, 1985).



a



b

Fotos: Griselda Gómez

Figura 45. Morfología de vainas en frijol. a. Fruto del frijol *Phaseolus vulgaris* L.; b. Planta de *Phaseolus vulgaris* L. en producción.

Semilla

La semilla de frijol se desarrolla al interior de las vainas (figura 46a), tiene una amplia variación de colores: blanco, crema, rojo, amarillo, café, morado o combinación de colores, característica relevante para la clasificación de las variedades y las clases comerciales (Ospina & Debouck, 1980). En cuanto a las formas también se encuentra variabilidad: puede ser ovalada, redonda, cilíndrica o arriñonada (figura 46b). La semilla de frijol está conformada por una testa con un micrópilo para favorecer el intercambio gaseoso, dos cotiledones y un eje embrionario. Las reservas de almidón de la semilla, necesarias para solventar la demanda energética del proceso germinativo, están contenidas en los cotiledones (Debouck & Hidalgo, 1985).



Fotos: Griselda Gómez y
Yanine Roza Leguizamón

Figura 46. Maduración de vainas y grano en frijol. a. Desarrollo de los granos de frijol al interior de la vaina; b. Semilla de *Phaseolus vulgaris* L.

Capítulo IV

Recurso genético, variedades y valor nutricional

Acervos genéticos

De acuerdo con estudios basados en rasgos morfológicos, isoenzimáticos, de faseolina y marcadores moleculares, se han identificado diferentes acervos para el germoplasma de frijol común, que dan cuenta de diferentes centros de domesticación a lo largo del continente americano y dentro de cada acervo, la presencia de diferentes razas (Blair, Astudillo, Grusak, Graham, & Beebe, 2009).

El frijol es de origen americano. Sin embargo, se refieren varios centros de domesticación como Mesoamérica y la zona andina, que difieren en sus características morfológicas, productivas, diversidad en la reacción a estreses bióticos, características bioquímicas y moleculares (Gentry, 1969). También se ha identificado la existencia de un centro de domesticación secundario en Colombia, en el que se observa la concomitancia de genes provenientes de ambos acervos (Beebe, Rengifo, Gaitán, Duque, & Tohme, 2001; Hernández Escobar, Urra Zayas, Díaz Viruliche, Pérez Petitón, & Hernández Cuello, 2013). De igual forma, en los diferentes programas de mejoramiento se ha avanzado en el flujo de genes entre acervos a través del cruce inter-acervo, con el objetivo de obtener las mejores características de ambos tipos de frijol, así como la alta productividad y tolerancia a plagas y enfermedades del grupo mesoamericano, y el tamaño y la calidad de grano del tipo andino (Blair et al., 2009). En el Caribe seco colombiano predomina la siembra de frijol es arbustivos (Tofiño et al., 2011). El banco de germoplasma de la nación colombiana es administrado por la Corporación colombiana de investigación agropecuaria (AGROSAVIA), el cual está compuesto por materiales regionales introducidos y mejorados de frijol. A partir de esta colección se han realizado diferentes estudios, uno de ellos corresponde a la caracterización de la colección colombiana de frijol arbustivo, en el cual se ha identificado, de acuerdo con indicadores morfológicos, el origen tanto andino

como mesoamericano en las accesiones de los frijoles con este tipo de hábito. En este sentido, se observó mayor variabilidad morfológica y agronómica entre las accesiones de origen andino respecto a aquellas de origen mesoamericano (Beebe et al., 2000). La diversidad morfológica entre los acervos genéticos está constituida por hábito de crecimiento, precocidad, área foliar, rendimiento, número de semillas por vaina y la longitud de los entrenudos. De modo general, el tipo de hojas y semillas grandes se asocian al germoplasma andino, y las pequeñas, al germoplasma mesoamericano (Ligarreto & Martínez, 2002).

En la zona predomina el uso de variedades locales arbustivas como el frijol chileno y el zaragoza, también el frijol palomito (*Vigna*) y frijol negro. Este último se utiliza principalmente para el autoconsumo de la familia, debido a su mayor tolerancia a los estreses locales (Tofiño et al., 2011).

Variedades mejoradas de frijol para el Caribe seco colombiano

A pesar de que el frijol común hace parte fundamental de la dieta de los pobladores del Caribe seco, y de los niveles altos de autoconsumo registrados en las familias de productores de la región (Lissbrant, 2015), en el registro nacional de cultivares del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) aparecen —hasta el 2016— 66 registros para frijol en general, en el que están agrupados el frijol común, caupí, kudzú y mungo. De estos, solo tres reportes de frijol es están autorizados para esta subregión, uno corresponde a frijol caupí cabecita negra blanco, ay dos de frijol común. De acuerdo con el ICA, el Caribe seco incluye regiones ubicadas en zona centro del Cesar, zona norte del Cesar, Atlántico, Guajira y norte del Magdalena (Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], s.f.).

Lo anterior indica que no existe, a la fecha, disponibilidad suficiente de semilla mejorada para cubrir los diferentes nichos productivos ubicados a lo largo de la Serranía del Perijá y la Sierra Nevada. Ello limita la posibilidad de migrar hacia la tecnificación del cultivo, en el esquema de agricultura intensiva sostenible que propone la FAO como estrategia de competitividad para el cultivo de frijol en Centroamérica y el Caribe (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2011).

Corpoica provinciano es una variedad mejorada de frijol caupí arbustivo, de crecimiento indeterminado, tipo cabecita negra para el Caribe seco colombiano, seleccionada participativamente con productores debido a sus atributos de grano grande (23 g/100 semillas), rendimiento (1470 kg/ha), precocidad con cosecha 60 días después de emergencia, resistencia a antracnosis y virus del mosaico común, pero susceptible a avispa *Trigona* sp. y chupadores de la vaina. Es recomendado para siembra en "sereno", es decir en los playones que dejan los ríos en época de verano y en general en el Caribe seco de 0-550 m. s. n. m. Sin embargo, este material no se inscribió en el registro de cultivares (Arrieta et al., 1999). La última variedad de frijol caupí (Caupica Motilonia M11), registrada por el ICA para la subregión en 1989, es de tipo arbustivo, grano blanco, recomendada de 0-500 m s. n. m. para los departamentos Cesar, Guajira y Magdalena (ICA, s.f.)

Recientemente AGROSAVIA registró ante el ICA, para la subregión Caribe seco, dos variedades mejoradas de frijol *Phaseolus vulgaris* L.: Corpoica 39 y Corpoica 43, de arbustivo, alto rendimiento (1.200-1300 kg/ha), precoces (75-80 días), de grano rojo, tamaño mediano (35 g/100 semillas) y biofortificados debido a su alta concentración de los micronutrientes Fe (80-90 ppm) y Zn (28-30 ppm), tolerancia a estrés hídrico con baja reacción a los principales limitantes bióticos como antracnosis y bajo tiempo de cocción (60 minutos). Recomendados para siembra en asocio Corpoica 43 y para monocultivo, Corpoica 39 en Caribe seco 600-1.400 m s. n. m. (Tofiño et al., 2016a).

Tipos comerciales de frijol en el Caribe seco

La clase comercial de frijol corresponde a un nombre genérico característico de cada país, que se aplica a un tipo de frijol con características específicas de grano como tamaño, color, brillo y forma. Estas categorías pueden ser altamente exigentes en su uniformidad cuando se trata de mercados especializados, o de baja exigencia cuando la comercialización es local (Voysest, 2000).

De acuerdo con Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas (Fenalce, 2011b), los frijoles consumidos en las diferentes zonas de la costa Caribe son los siguientes.

Frijol radical (*Phaseolus vulgaris* L.)

Zona de consumo principal: Bolívar

Clases comerciales internacionales a los que corresponde: *Small red*, *dark red* y *kidney*, provenientes de Estados Unidos, los cuales compiten con la producción colombiana.

El frijol radical es de tipo arbustivo y uniforme en cuanto a tamaño, número de granos y distribución en la planta; grano de tamaño mediano (menor a 50 g/100 semillas) y color rojo oscuro, con concentración de hierro en la semilla de 70 ppm. En el caribe seco colombiano se cuenta con las variedades mejoradas Corpoica rojo 39 y 43 de grano tipo radical con mayores contenidos de hierro y zinc, respecto a lo registrado en otros materiales comerciales (figura 47) (Delgado, Pinzón, Blair, & Izquierdo, 2013).



Foto: Rafael de Oro

Figura 47. Foto semilla variedad de frijol biofortificado Corpoica rojo 43, que corresponde al tipo comercial radical.

Frijol nima, calima, moteado (*Phaseolus vulgaris* L.)

Zona de consumo principal: Bolívar, Cesar, Guajira.

Clases comerciales internacionales a los que corresponde: Pinto, *dark red*, *cranberry* y *kidney*. La producción colombiana compite con estos tipos de frijol es importados desde Estados Unidos.

El frijol nima es de tipo arbustivo y presenta plantas de 50 cm de altura, coloración del follaje verde intenso y flores blancas; el periodo vegetativo es de 85 a 90 días, hasta la cosecha. La semilla es roja con pintas crema y de forma alargada. El peso de 100 semillas es de 45 g y requiere poco tiempo de cocción. Se siembra en condiciones de clima medio a cálido (800-1.800 m s. n. m.). Su precio es menor al de los frijoles de tamaño grande como los tipos cargamanto, y al igual que este es susceptible a enfermedades (Arias et al., 2007).

Frijol caraota (*Phaseolus vulgaris* L.)

Zona de consumo principal: Sur de Bolívar, Cesar.

Clases comerciales internacionales a los que corresponde: *Black bean* y *black turtle*. El frijol producido en zona Caribe compite con el frijol importado desde Estados Unidos.

La planta del frijol caraota es de tipo arbustivo indeterminado con y sin guía. Además, tiene amplia adaptación, pues se registran siembras entre 150 y 2.000 m s. n. m.; es poco exigente en la cantidad de agua, pero requiere una adecuada distribución durante el ciclo fenológico (300-500 mm); la semilla va de pequeña a mediana (peso de 100 semillas 25-30 g), de color negro brillante o negro opaco, de forma arriñonada o alargada; presenta un rendimiento hasta de 1,9 t/ha para las variedades mejoradas y 0.8 para las locales (Durán, Lambert, & Velázquez, 2014) (figura 48).



Foto: Adriana Patricia Tofiño

Figura 48. Frijol carita o caraota en plaza de mercado.

Frijol zaragoza (*Phaseolus vulgaris* L.)

Zona de consumo principal: Sur de Bolívar.

Clases comerciales internacionales a los que corresponde: *Light red kidney, pink.*

La planta de frijol rosado es de tipo arbustivo determinado, flores blancas, altura 60-70 cm, vainas ubicadas en la zona central, semilla rosada, aplanada de forma arriñonada y rectangular, tamaño grande (peso de 100 semillas mayor a 50 g), rendimiento mayor a 1 t/ha, contenido de Fe (40-55 ppm) se siembra de 900-1.500 m s. n. m. (Astudillo & Blair, 2008) (figura 49).



Foto: Adriana Patricia Tofiño

Figura 49. Frijol rosado o zaragoza en plaza de mercado.

Frijol caupí blanquillo (*Vigna unguiculata*)

Zona de consumo principal: Costa atlántica.

Clases comerciales internacionales a los que corresponde: *Navy, baby lima, great northern, white beans.*

El blanquillo, que se produce en zonas cálidas del país, en zonas bajas de piedemonte o ladera (700-1.100 m s. n. m.), compite con las importaciones que llegan desde Estados Unidos. Es un arbustivo, de semilla blanca pequeña (peso de 100 semillas menor a 30 g), de formas variadas (arriñonada, ovalada, alargada o rectangular); presenta contenido de hierro (54 ppm), contenido de Zn (27 ppm) y rendimiento de 1,9 t/ha (Astudillo & Blair, 2008) (figura 50).



Foto: Adriana Patricia Tofiño

Figura 50. Frijol blanquillo en plaza de mercado.

Frijol caupí (*Vigna unguiculata*)

Zona de consumo principal: A lo largo de la costa Caribe.

Clases comerciales internacionales a los que corresponde: *Cowpea*, producido en Estados Unidos y que compite con los granos producidos en la costa Caribe.

Es una planta anual, con alto valor para rehabilitación de suelos como forraje verde después de la última cosecha; de acuerdo con el tipo de material puede presentar semillas crema, roja, blanca con cabecita blanca o blanca con cabecita negra (figura 51). Los materiales mejorados pueden rendir hasta 2.0 t/ha con promedio de 1,3 t/ha, distribuidos desde 100-700 m. s. n. m. Son de semilla pequeña (peso de 100 semillas, 15 g) y tienen contenido de proteína (23 %) y carbohidratos (56 %). El tipo de planta puede variar según el material, desde tipo erecta a rastrera, flor morada, vainas de color variable (moradas pigmentadas y marrón pigmentada o marrón claro); forma de la semilla heterogénea (ovoide, arriñonada, redondeada) y altura de planta de 37 a 53 cm. En evaluaciones participativas con productores, se ha identificado que los criterios que destacaron en la preferencia de los cultivares fueron porte erecto, maduración precoz y uniforme, y número de vainas por planta. El CIAT ha registrado la importancia del germoplasma de *Vigna* como fuente de resistencia a lorito verde (*Empoasca kraemeri*) (León, Torrealba, Higuera, Reina, & Sáez, 2013).



Foto: Adriana Patricia Tofiño

Figura 51. Frijol cabecita negra en plaza de mercado.

La verificación en los supermercados de la región muestra que además de la presencia de los tipos de frijol indicados, también se comercializa el cargamanto rojo, blanco, bola roja y tipo pinto; no se encontró el tipo mungo. Se identificó una gran cantidad de frijol importado, principalmente el tipo pinto proveniente de Estados Unidos, que compite con el tipo cargamanto producido en el país.

Frijol mungo (*Vigna radiata*)

Zona de consumo principal: A lo largo de la costa Caribe.

En Colombia el frijol mungo (*Vigna radiata*) se produce en la costa atlántica y en el Tolima. Las clases comerciales internacionales compiten con la producción nacional. El germoplasma de esta especie presenta materiales tanto de ciclo corto (75 dds), mediano (90 dds) como largo (150 dds), y genotipos erectos y volubles. En la costa Caribe predominan materiales de ciclo corto (79 dds), con altura de planta inferior a 30 cm. Presenta una amplia adaptación climática, pues se produce bien a temperaturas entre 18 y 33 °C, el ciclo de cultivo puede variar respecto al material entre 45 y 100 dds, las semillas son de coloración verde brillante u opacas. La productividad es también variable en el germoplasma de la especie y se reporta un promedio de vainas/plantas entre 21,15 y 105,85 vainas; además, se ha registrado que en general presenta alto contenido de vitamina A y tiamina (Peláez, Maluenga, Madriz, Trujillo, & Torres, 2003).

Valor nutricional

Calidad nutricional

Al evaluar la calidad de proteína de frijol en humanos adultos, por el método de balance nitrogenado de corto tiempo, se determinó que 0,9 a 1,0 g de proteína de frijol/kg/día son necesarios para que los individuos estén en balance, y para una población se recomendaría una ingestión de 1,2 a 1,3 g de proteína de las variedades de frijol común estudiadas (Rodríguez-Castillo & Fernández-Rojas 2003). En este sentido, respecto al contenido de micronutrientes en el frijol común, se desarrolló un estudio en variedades arbustivas de frijol con el fin de conocer la respuesta de la fertilización fosfórica sobre la acumulación de hierro y zinc en la semilla. Se encontró que la fertilización afectó positivamente la acumulación de hierro, y que esta respuesta fue variable de acuerdo con la variedad. Los tratamientos con fósforo permitieron alcanzar niveles de hierro hasta de 85 ppm (Islam, Basford, Jara, Redden, & Beebe, 2002).

Por otro lado, se han realizado diferentes trabajos en Latinoamérica con cultivos biofortificados, tendientes a mitigar el problema de anemia ferropénica, como es el caso de Cuba, donde la deficiencia de hierro es la carencia nutricional más extendida. Para enfrentarla, este país tiene implementado el “Plan integral para la prevención y control de la anemia por deficiencia de hierro en Cuba”, que incluye entre sus estrategias la diversificación alimentaria, con énfasis en la obtención de alimentos con buenas fuentes de hierro. La introducción de la biofortificación en los cultivos-variedades seleccionados o creados con mayor contenido de hierro y zinc, ofrece una opción que puede resultar sostenible y de bajo costo para Cuba (Chaveco et al., 2007).

En Colombia, con el mejoramiento de frijol, se ha buscado aumentar los contenidos de hierro y zinc, partiendo de una línea base contenida en los frijoles que se producen actualmente a través del programa HarvestPlus del CIAT. La alianza CIAT-Corpoica ocasionó que en el año 2015 se registraran dos variedades mejoradas de frijol biofortificado para la subregión Caribe seco, cuyos atributos se encuentren acordes con las demandas para la región Caribe colombiana, relacionadas con materiales adaptados a temperaturas (temperatura nocturna $\geq 26^{\circ}\text{C}$), 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, y contenido alto de microelementos como hierro (80 ppm) y zinc (35 ppm). Este último criterio es un valor agregado que responde a los bajos indicadores de ingesta de micronutrientes que registra la región en general (Tofiño et al., 2016a).

Contenido nutricional del frijol

Los granos básicos de la canasta familiar tanto de Centroamérica como del Caribe seco colombiano están constituidos por arroz, maíz y frijol (Carrazón, Corleto, & Sibrián, 2013). El grano de frijol proporciona la fuente de proteína con mayor acceso a la población en general, debido a los elevados costos de la carne, la leche y los productos cárnicos (Guarín, 2008). Sin embargo, se debe tener en cuenta que las proteínas vegetales no poseen todos los aminoácidos esenciales, a diferencia de la proteína animal; por lo cual no es recomendable una sustitución total. En este sentido, existen diversas calidades de frijol con variabilidad de precios que van desde \$2.300/500 g del frijol importado tipo caraota, hasta \$6.190/500g de frijol cargamanto, frente a \$7.000/500 g de carne de primera, \$6.000 la carne de segunda, costilla \$4.000 y hueso rojo \$2.000 (Barriga Ramírez, s.f.).

Específicamente, la proteína de frijol carece de los aminoácidos esenciales metionina y triptófano. 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 carbohidratos complejos (almidón) (Cruz-Bravo, Guzmán-Maldonado, Herrera, Cid-Ríos, & Juárez-García, 2015). Las clases comerciales de frijol más consumidas en Colombia, como bola roja y cargamanto, presentan en promedio 20 % de proteína y un contenido nutricional total que permite al ICBF recomendar a personas mayores de dos años una ingesta de dos raciones semanales de (60-70 g), dependiendo si se preparan solos o acompañados con plátano y guiso (ICBF, 2015) (tablas 5 y 6).

Tabla 5. Valores nutricionales del frijol bola roja (500 g) Granos San Pedro

Calorías	341	Sodio	0 mg
Grasas totales	1 g	Potasio	0 mg
Saturadas	0 g	Carbohidratos totales	0 g
Poliinsaturados	0 g	Fibra dietética	0 g
Monoinsaturados	0 g	Azúcares	4 g
Trans	0 g	Proteínas	19 g
Colesterol	0 mg	Calcio	8 %
Vitamina A	0 %	Hierro	15 %
Vitamina C	0 %		

* Los valores diarios de porcentaje están basados en una dieta de 2000 calorías. Los valores diarios podrían ser superiores o inferiores dependiendo de las necesidades calóricas.

Fuente: MyFitnessPal.com (s.f.a)

Tabla 6. Valores nutricionales del frijol cargamanto rojo (500 g) Granos San Pedro

Calorías	341	Sodio	35 mg
Grasas totales	1 g	Potasio	0 mg
Saturadas	0 g	Carbohidratos totales	64 g
Poliinsaturados	0 g	Fibra dietética	25 g
Monoinsaturados	0 g	Azúcares	3 g
Trans	0 g	Proteínas	19 g
Colesterol	0 mg	Calcio	8 %
Vitamina A	0 %	Hierro	15 %
Vitamina C	0 %		

*Los valores diarios de porcentaje están basados en una dieta de 2.000 calorías. Los valores diarios podrían ser superiores o inferiores dependiendo de las necesidades calóricas.

Fuente: MyFitnessPal.com (s.f.b)

Por otro lado, se ha registrado que el frijol acumula una amplia diversidad de fitoquímicos (polifenoles, inhibidores de tripsina, lectinas, fibra, y biopéptidos), que benefician a la salud del consumidor al prevenir la obesidad, el estreñimiento, la diabetes mellitus, la hipertensión, el cáncer de colon, entre otras enfermedades. De igual manera, se sabe que cerca del 20 % del almidón total del frijol no se digiere. Las limitaciones en la digestibilidad del almidón del frijol lo clasifican como un alimento de bajo índice glicémico, lo que es ventajoso en comparación con otros alimentos elaborados con trigo (Cruz-Bravo et al., 2015).

Sin embargo, el aprovechamiento nutricional de los alimentos está ligado al consumo diario o frecuente. En este sentido, el consumo de frijol en Colombia se ha mantenido estable desde el 2003. A la fecha, se estima que el consumo per cápita en Colombia no ha variado mucho respecto a los 3,6 kilogramos; aunque de acuerdo con los nutricionistas, 12 kilogramos/ persona/ año serían necesarios para aprovechar una proporción significativa de los nutrientes que aporta el grano frijol (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2016).

Al mencionar los efectos que puede tener el consumo de frijol para mitigar problemas de la salud, el programa HarvestPlus del CIAT registra que dicho alimento produce un menor riesgo de infarto. En ese sentido, varios estudios demuestran una reducción del colesterol a raíz del consumo del frijol. Por ejemplo, en una población urbana de Costa Rica, quienes mantuvieron la costumbre de consumir frijol diariamente, tenían 38 % menos riesgo de infarto en comparación con consumidores poco frecuentes.

En cuanto a la prevención del cáncer, también se han notado evidencias positivas como la reducción en un 50 % sobre el riesgo de aparición de células malignas en el colón; además, este efecto se ha verificado mediante estudios epidemiológicos sobre la menor tasa de mortalidad por cáncer de próstata y de mama en poblaciones consumidoras de frijol. Otros estudios indican que el frijol, y las leguminosas en general, son una fuente de carbohidratos complejos, de lenta digestión y de bajo índice glicérico, condiciones que son favorables para personas diabéticas. En general, el contenido de hierro, zinc, cobre y calcio en la semilla de frijol lo postula como un alimento para disminuir los índices de anemia ferropénica (Astudillo & Blair, 2008).

En relación con el contenido de micronutrientes, se han realizado estudios sobre el contenido y el efecto de la fertilización con fósforo, sobre la acumulación de hierro y zinc en la semilla de los principales cultivares arbustivos de frijol en Colombia. A partir de ello se ha encontrado una interdependencia entre la acumulación de micronutrientes y la fertilización fosfórica, al incrementar los niveles máximos de zinc a 26 ppm y los de hierro a 61,5 ppm (Astudillo & Blair, 2008). Debido a la importancia de los micronutrientes en la prevención de enfermedades crónicas, el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), la Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas (Fenalce) y la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) han articulado esfuerzos en el registro de variedades mejoradas de frijol para incrementar el contenido de micronutrientes respecto al promedio de las variedades comerciales disponibles (más de 70 ppm de Fe y más de 27 ppm de Zn) (Centro Internacional de Agricultura Tropical [CIAT], 2018; Tofiño et al., 2016a).

Capítulo V

Tecnología local de producción y recomendaciones de manejo

Se realizaron talleres con una muestra de productores de municipios del Caribe seco, en los que se capturó información relacionada con variables de tipo socioeconómico y técnico-productivos del cultivo de frijol, y se visitaron municipios y veredas del Cesar, La Guajira y Magdalena. La metodología que se utilizó fue por consenso, con el uso de una herramienta de votación en la que los productores podían elegir, a través de un control (*Clicker*), las opciones que se adecuaban a sus condiciones de producción. Esta metodología permite, en tiempo real, hacer ajuste a las preguntas, a las opciones de respuesta, y la discusión por parte de los participantes sobre la veracidad de los resultados, es decir sobre la realidad del objeto de estudio, así como votar cuantas veces sea necesario hasta que se logre una respuesta veraz.

Técnico productivas y recomendaciones técnicas de manejo

Suelos, análisis y preparación del terreno

El 81,82 % de los productores afirmó que no realiza análisis de suelos antes de la siembra del frijol, el 12,12 % que sí dio uso al análisis, y el 6,06 % que realizó el análisis, pero no aplicó las recomendaciones (figura 52). El conocimiento de las características generales de los suelos donde se establecerá el frijol es fundamental, pues de ella se desprenden decisiones técnicas tan importantes como las dosis de herbicida a emplear, el tipo y cantidad de fertilizante y la aplicación de riego e intensidad. Por tanto, es de gran importancia revisar cuáles son los requerimientos del frijol respecto a las condiciones del suelo.

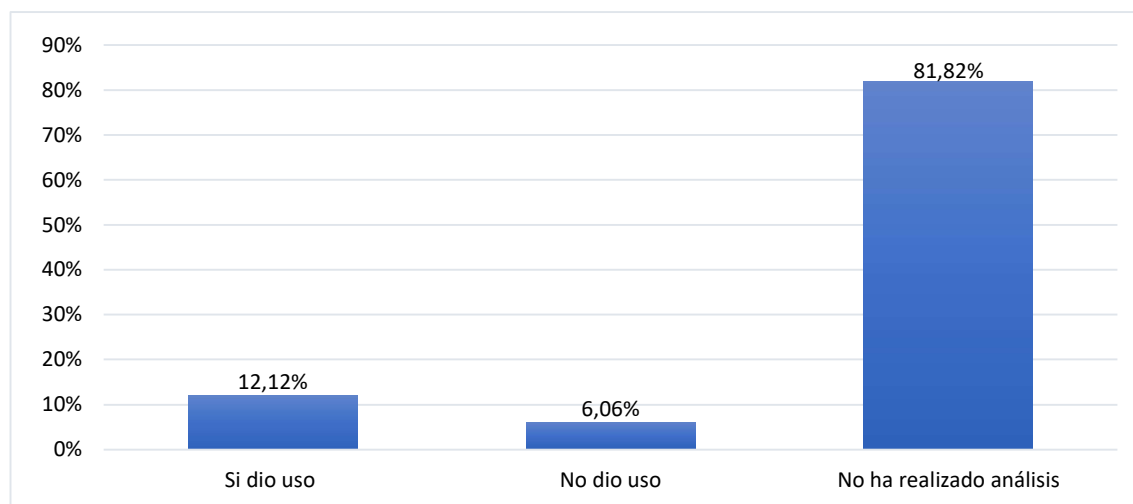


Figura 52. Uso del análisis de suelos.

Fuente: Elaboración propia

Requerimientos edáficos

El frijol expresa su potencial productivo en suelos con profundidad efectiva elevada, alta capacidad de intercambio catiónico, contenido intermedio a alto de materia orgánica y porosidad. Limitan su productividad la acidez, contenidos altos de aluminio y manganeso o elementos menores disminuidos. Sin embargo, aunque es tolerante al pH entre 4,5 y 8,2, por debajo de 5,5 presenta generalmente síntomas de toxicidad de aluminio y/o manganeso. Los terrenos deben ser preferiblemente ondulados o ligeramente ondulados. En lo posible, se debe evitar sembrar en suelos que se compactan fácilmente o que forman costras cuando se secan, o en suelos pedregosos (Rivera et al., 2014).

Algunos elementos de ayuda para la interpretación de los valores arrojados por los análisis de suelo se explican en el Diagrama de Troug, donde se observa una clara correlación entre el nivel del pH y la disponibilidad para las plantas de los minerales, y se evidencia que dentro de los niveles de acidez y alcalinidad existen categorías que condicionan deficiencias o toxicidades moderadas o elevadas; mientras que un bajo pH, cercano al 7, se acerca a un balance en la disponibilidad de los minerales. El pH debe tenerse en cuenta incluso para la determinación del fertilizante a utilizar, para suplir las necesidades del cultivo que el suelo no

satisfaga, y en la decisión del uso de enmiendas, pues con un pH muy ácido o muy básico se mantendrán las bajas disponibilidades así se fertilice (figura 53).

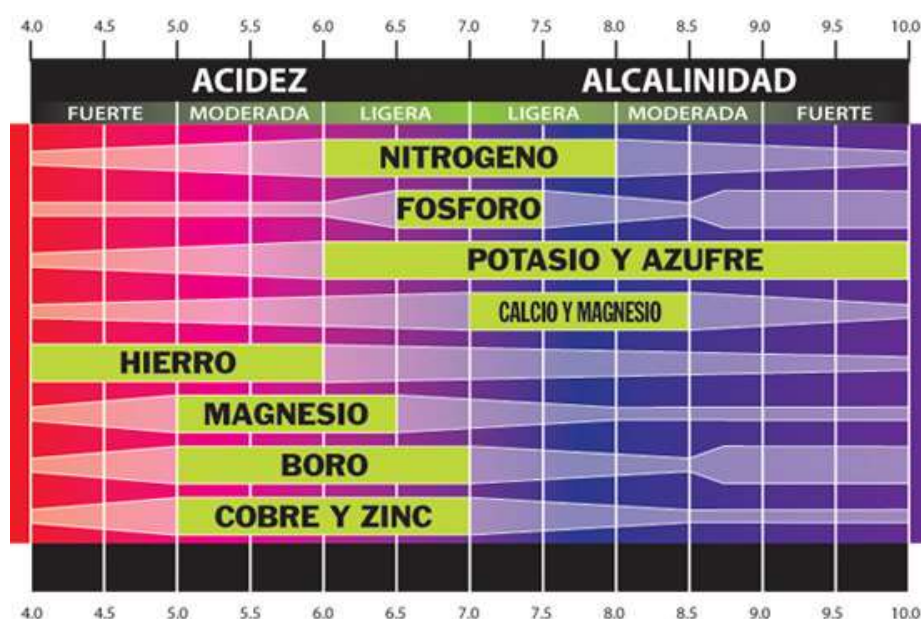


Figura 53. Diagrama de Troug, influencia del PH sobre la disponibilidad de nutrientes.

Fuente: Agrogen (s.f.)

En suelos arcillosos pueden presentarse problemas de asfixia radicular, con lo cual se generan rápidamente los síntomas de marchitamiento; tolera niveles medios de salinidad de suelo, y en suelos muy ácidos se presentan problemas de crecimiento y producción, caída de flores y pérdida de vigor de la planta (Barrios & Álvarez, 2016). De acuerdo con lo anterior, es recomendable realizar un análisis fisicoquímico de suelos al menos una vez cada cinco años.

Análisis de suelos

El análisis de suelos es el mecanismo que le permite al productor conocer las condiciones del suelo en el que va a sembrar: deficiencias de nutrientes, estructura fisicoquímica del suelo y necesidades de fertilización (Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], 1992). Este conocimiento permite hacer un uso óptimo de los fertilizantes químicos y orgánicos, para mejorar la rentabilidad del

cultivo, menores costos y una mejor producción (Silva Mojica, 2001). El productor afirma que no realiza análisis de suelos porque no tiene acceso a laboratorios en su zona de influencia, por los altos costos del análisis y por falta de asistencia técnica frente a cómo se debe tomar adecuadamente la muestra. En el caso del cultivo de frijol, debido a su corta duración, las labores —especialmente las de fertilización— deben realizarse oportunamente para evitar efectos negativos sobre el rendimiento. Diversos estudios han registrado el efecto de las prácticas agrícolas sobre la calidad del suelo (Campitelli, Aoki, Gudelj, Rubenacke, & Sereno, 2010). En casos similares a los que refleja el taller con productores, AGROSAVIA ha validado una metodología de análisis *in situ* de calidad de suelo, para identificar sitios dentro de la finca aptos para el cultivo de frijol en el que, basados en herramientas disponibles en cualquier finca y bajo metodologías descriptivas, se pueden descartar aquellos lotes que presentan alta acidez, alta salinidad, baja actividad microbiana, baja conductividad hídrica, alta resistencia a la penetración y baja porosidad (Tofiño-Rivera, Velásquez-Agudelo, & Zapata-Tamayo, 2016b).

Algunos métodos que pueden ser utilizados en campo son:

Textura

Método utilizado para conocer la porción de elementos que constituyen el suelo (arena, limo y arcilla).

Permite la identificación de franjas bien diferenciadas, la arena (en la parte de abajo por ser más pesada), el limo (sobre la primera capa) y las partículas de arcilla (en la zona superior) (figura 54).

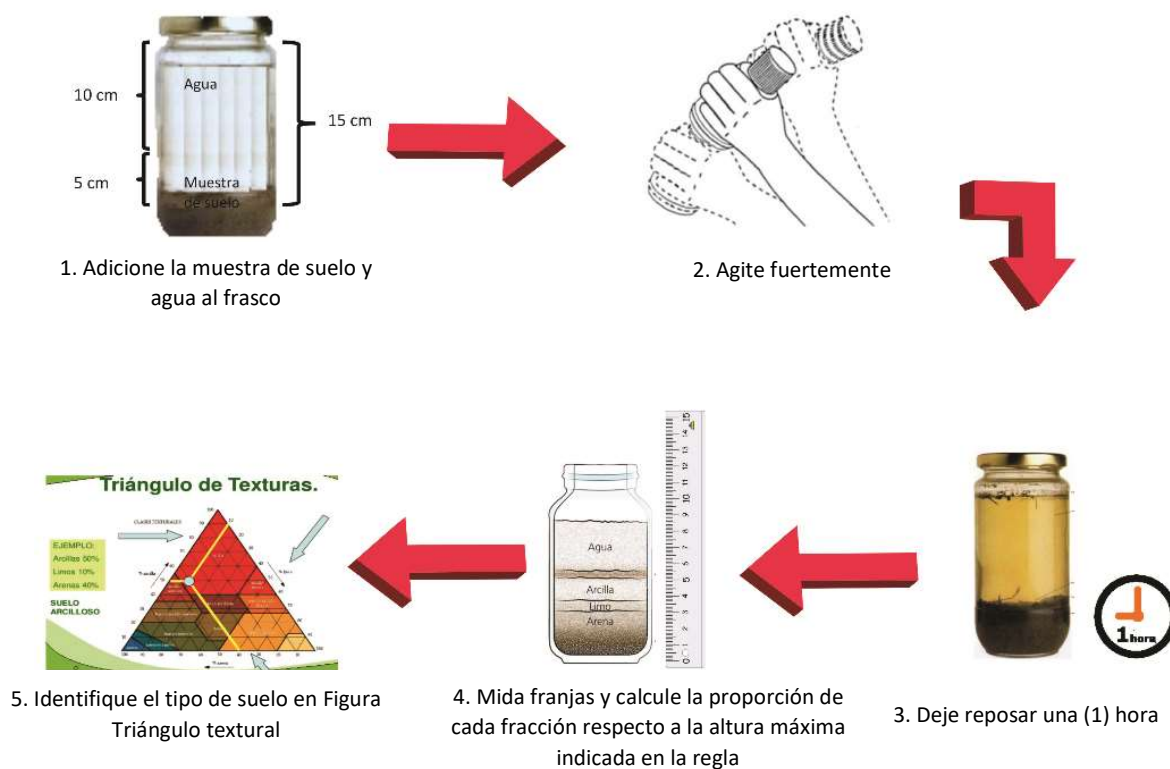


Figura 54. Método para determinación de textura.

Fuente: Tofiño et al. (2016b)

1. Marque una botella con una franja 5 cm sobre su base.
2. Coloque una cantidad de suelo en la botella hasta que llegue al nivel marcado y llénela de agua hasta la boca de esta (tenga presente que por cada parte de suelo deben adicionarse dos partes de agua).
3. Agítela bien y déjela reposar durante una hora. Transcurrido dicho tiempo, el agua estará transparente y se podrá observar que las partículas mayores se han sedimentado.
4. Mida el ancho de las franjas formadas de arena, limo y arcilla y calcule la proporción aproximada de cada uno.
5. Con la ayuda de la imagen del triángulo de textura, identifique el tipo de suelo, como se muestra en el ejemplo.

Porosidad

El resultado de este método nos acerca a la determinación de la actividad de los organismos del suelo, a partir de la disponibilidad de aire para su desarrollo y formación biológica de poros. Se requiere como mínimo hacer la evaluación en tres puntos del lote y la homogeneidad de las capas a ser permeadas por la solución, para que sean válidos los datos.

Capacidad de aireación

El método propuesto para medir cualitativamente la capacidad de aireación en el suelo evidencia la porosidad *in situ*, como el potencial de aireación del suelo y, por lo tanto, la disponibilidad de aire al interior de este. Para ello se deben seguir los siguientes pasos (figura 55).



Figura 55. Porosidad del lote en campo.

Fuente: Tofiño et al. (2016b)

1. Realizar una suspensión de 10 g de carbonato de calcio o cal (CaCO_3) seco y pulverizado en 50 ml de agua.
2. Tomar con una pala una muestra de suelo, a manera de tajada, de arriba hacia abajo.
3. Agitar la suspensión de cal (CaCO_3) y verter 5 ml a lo largo de la muestra.
4. Evidenciar el paso de la solución de tonalidad blanca al otro extremo del suelo, estableciendo la rapidez con que se dio la penetración de esta.

Toma adecuada de la muestra

De la forma como se tome la muestra depende la efectividad del resultado. La forma correcta es:

1. Seleccionar áreas homogéneas: Se divide la finca en zonas que tengan igualdad en topografía del terreno, nivel de fertilidad, humedad del suelo, textura, cultivos sembrados anteriormente o el tipo de vegetación.
2. Profundidad de la muestra: La profundidad depende del tipo de cultivo. Para el caso del frijol se recomienda 20-30 cm, área en la que se encuentra la mayor densidad de raíces.
3. Época recomendada para el muestreo: La recomendación es hacerlo por lo menos 60 días antes de la siembra; en el caribe el sistema de producción de frijol es el monocultivo, por lo que se recomienda hacerlo antes de la siembra.
4. Material para la toma: Las herramientas deben ser lavadas con agua y jabón, y desinfectadas con yodo agrícola en dosis de 2 cc/l.

Tipos de recorrido

Se pueden efectuar varios tipos de recorrido en la finca para la toma de muestras del suelo (figura 56); la decisión sobre el recorrido depende de la topografía del terreno y la facilidad de recolección (Bolsa de Comercio de Rosario Córdoba, s.f.).

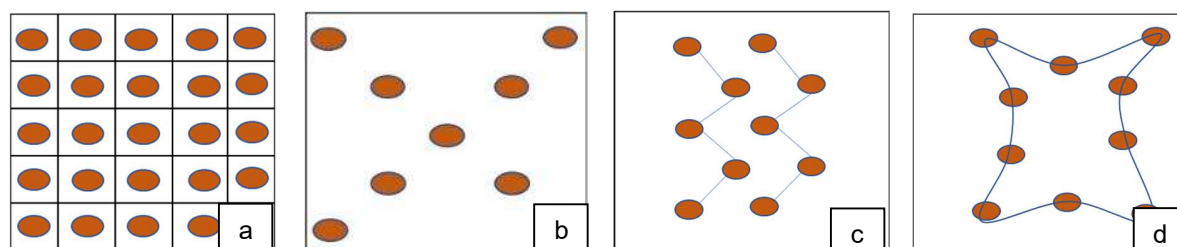


Figura 56. Tipos de recorrido para toma de muestras de suelo. a. Cuadrícula; b. Diagonal; c. zigzag; d. Sinuosa.

Fuente: Adaptación de Bolsa de Comercio de Rosario Córdoba (s.f.).

Preparación del terreno

El 75,93 % de los productores del Caribe seco afirman que la preparación del terreno la realizan manualmente con azadón; el 24,07 % no prepara el terreno, pues siembra directamente; y ninguno referencia el uso de maquinaria agrícola (figura 57), este tipo de preparación se debe principalmente a que el frijol se siembra en ladera, lo que no permite el uso de maquinaria agrícola.

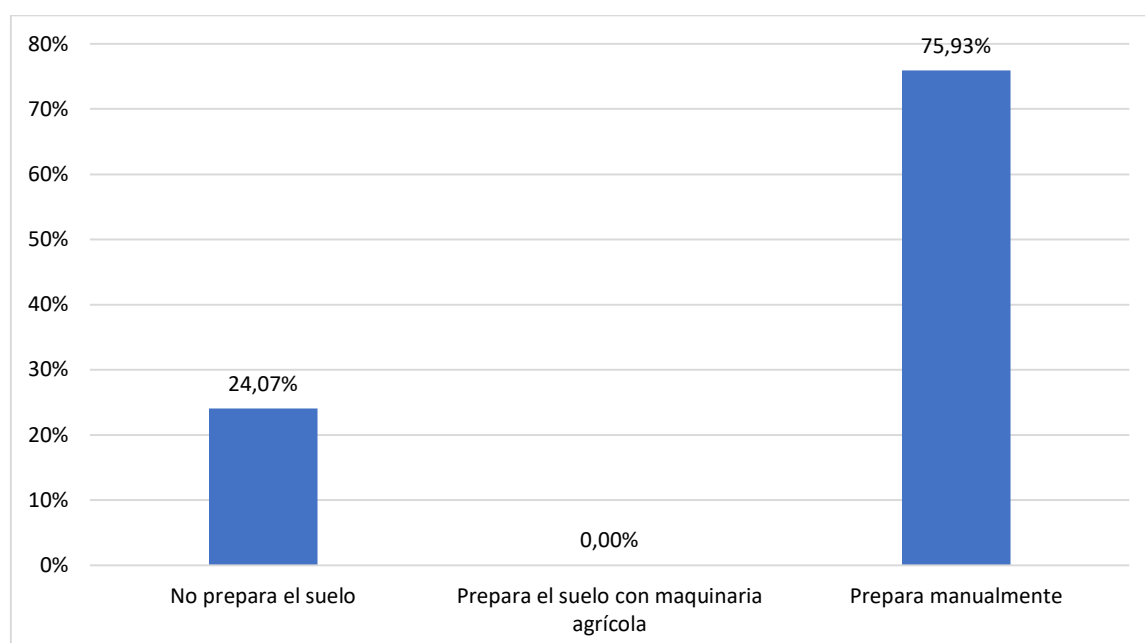


Figura 57. Tipo de preparación para la siembra.

Fuente: Elaboración propia

La labranza mínima o reducida es la más utilizada en frijol en el país (Ríos Betancour, Quirós Dávila, & Arias Restrepo, 2003). Antes de preparar debe tenerse en cuenta el tipo de suelo, pues si este es muy arenoso es conveniente la aplicación de materia orgánica, pero si es pesado no es conveniente el volteo excesivo o la mezcla de los horizontes. Bajo condiciones en las que no es posible la mecanización, es recomendable la preparación manual de camas, de este modo se controlan arvenses y plagas del suelo, se promueve la oxigenación y el movimiento del agua a través del perfil del suelo (Lardizábal, Arias, & Segura 2013).

Semilla: origen y criterio de selección

El 41,22 % de los productores consultados selecciona de su propia cosecha la semilla para la próxima siembra, el 29,01 % compra semilla en el mercado local, el 22,14 % lo adquiere en una casa comercial y el 7,63 % intercambia o compra a vecinos (figura 58).

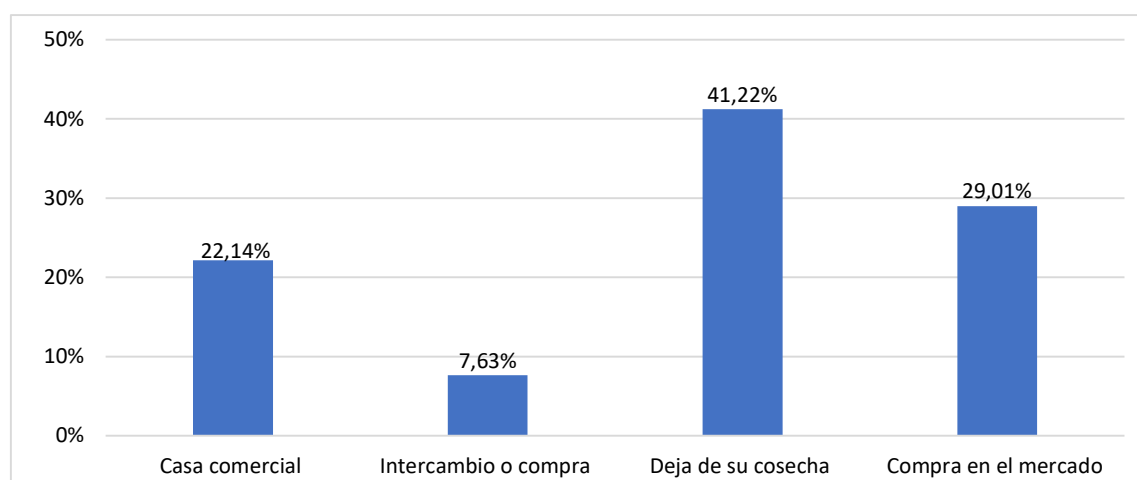


Figura 58. Origen de la semilla utilizada.

Fuente: Elaboración propia

A la pregunta sobre el criterio utilizado por los productores para decidir qué semilla comprar y sembrar, el 26,14 % afirma que depende del precio que se presenta en la plaza de mercado, el 20,45 % que lo hacen por tradición familiar, el 14,77 % que siembra el frijol que tiene más fácil comercialización, 13,64 % lo

decide según la productividad por piso térmico, el 11,36 % por rendimiento/ha, entre otras (figura 59).

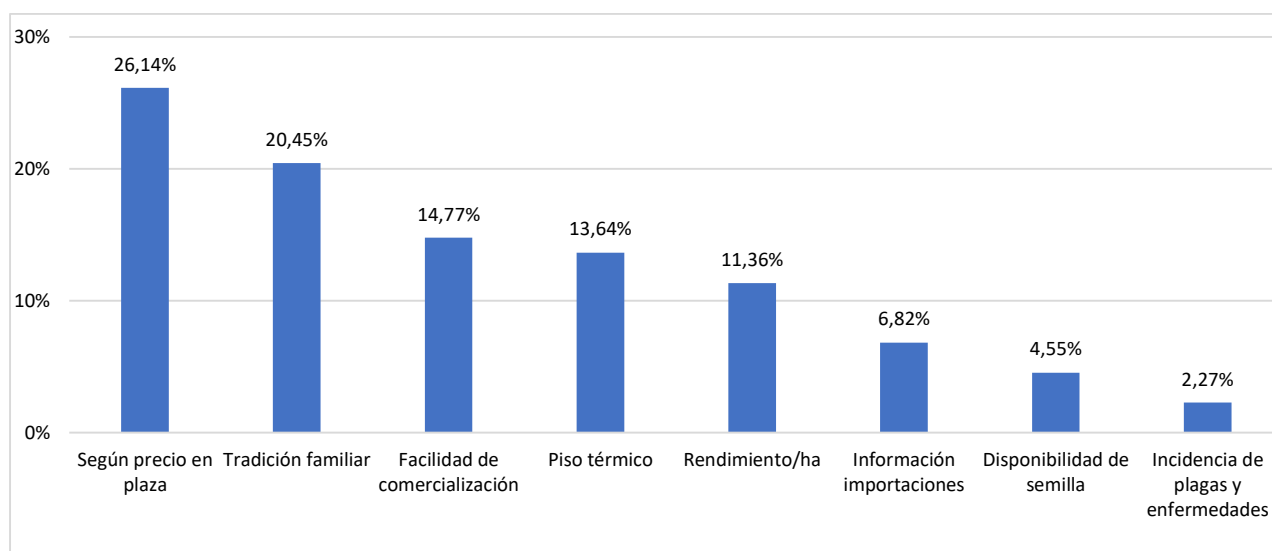


Figura 59. Criterio utilizado para la selección de la semilla a sembrar.

Fuente: Elaboración propia

Se recomienda utilizar semilla certificada, previamente tratada con fungicida e insecticida carboxin + captan, clorpirifós, para disminuir pérdidas por enfermedades o el ataque de insectos plagas en las primeras fases del cultivo, manteniendo una densidad de población adecuada (100.000-120.000 pl/ha) (figura 60a y b).



Fotos: Rafael de Oro

Figura 60. Semilla de frijol. a. Semilla certificada; b. Semilla tratada para la siembra.

La calidad de la semilla (sanidad y uniformidad en la coloración) puede verse afectada si el cultivo coincide con eventos de variabilidad climática, pues durante el 2009 y 2017, semestre B, se alcanzaron precipitaciones superiores a 730 mm entre emergencia y cosecha, lo cual ocasionó decoloración del 17% del grano cosechado (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [Corpoica], 2017).

Siembra: épocas y sistemas

En el Caribe seco, de acuerdo con el 70 % de los productores encuestados, se siembra una vez al año en el mes de octubre; mientras que el 30 % realiza dos siembras: la primera en abril y la segunda en septiembre u octubre. El 100 % de los productores siembran frijol arbustivo.

Existe en el país diversidad de literatura que describe la tecnología local de producción y las recomendaciones técnicas del cultivo de frijol en zona andina. Sin embargo, a pesar de que hay un nicho productivo para frijol arbustivo en Antioquia, se encuentran diferencias ecoambientales que diferencian los

sistemas productivos en ambas zonas. En Antioquia, el frijol arbustivo se siembra en clima medio de 1.300-1.800 m. s. n. m., precipitaciones 500-5.000 mm, pendientes fuertes, suelos ácidos y baja fertilidad, temperatura 20-24 °C (León, 2001; Román & Arias, 1995). En la costa Caribe, el frijol se siembra desde 700 m s. n. m., y es usual que el frijol se siembre en pendientes superiores a 35 %, por lo cual no es posible la preparación de suelos y se sigue un esquema similar de mínima labranza, con siembra en cuadro 30 x 30, con dos plantas por sitio descrito en frijol de clima medio en Antioquia (Tofiño et al., 2016b). En clima medio antioqueño es usual que el frijol arbustivo se establezca en abril-mayo y la segunda, en septiembre-octubre (Román & Arias, 1995). Sin embargo, la certeza de las lluvias en la costa Caribe en el primer semestre es menor y el mayor número de productores de frijol siembran en el segundo semestre del año.

Respecto a los sistemas de siembra comunes al Caribe seco y clima medio antioqueño, para frijol arbustivo en monocultivo por hileras y por sitio se debe hacer: en las hileras un rayado continuo y una semilla por sitio cada 15-20 cm de acuerdo con la variedad. El ancho de los surcos dependerá de la intensidad de la pendiente, siendo recomendable menor distanciamiento a medida que la pendiente se acentúa, y sembrar a través de la pendiente. En el Caribe seco se observa siembra en surcos en los que solo se remueve la línea donde va la semilla, como se ha evidenciado en diversas localidades visitadas como el municipio de Manaure Balcón del Cesar, vereda La Tomita, Pueblo (Cesar); vereda El hondo, nariz con boca; Aracataca (Magdalena), vereda Las Flores, y La Paz (Cesar), corregimiento San José de Oriente, vereda Los Encantos.

Por su parte, la siembra en sitios consiste en realizar hoyos con espeque o con la punta del machete a 30 cm entre planta, donde se ubican dos semillas, y el ancho del surco varía de acuerdo con la pendiente; en las más suaves a 60 cm y en las más empinadas a 40 cm (Román & Arias, 1995) (figura 61). El sistema de siembra por sitios se identificó en el municipio de La Paz, corregimiento de San José, veredas Guaymaral y Laguna de los indios; Manaure, vereda Nicaragua y Valledupar, Corregimiento María Angola, veredas El Descanso y Gallinetas, Aracataca vereda, y Bocas de Aracataca, Urumita (La Guajira), vereda La Esperanza.

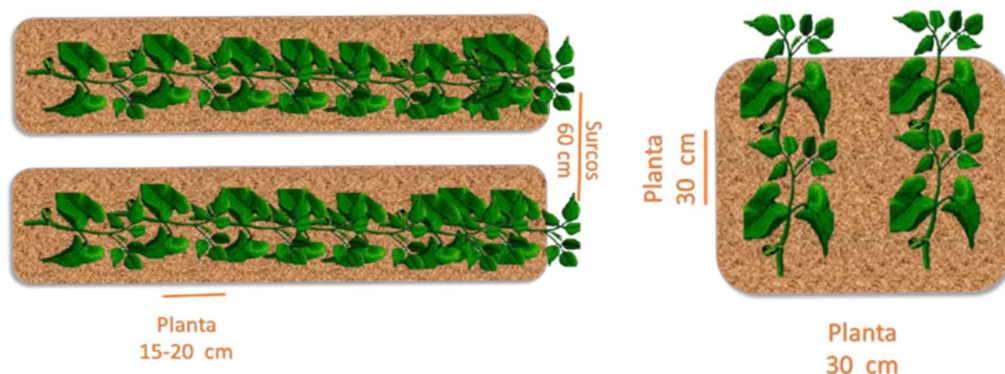


Figura 61. Sistemas de siembra referidos por productores en el Caribe seco.
Fuente: Elaboración propia

Fertilización

El 45 % de los productores del CNA afirma que realiza alguna práctica para el mejoramiento de los suelos, y el 70,2 % asegura que el año anterior (2013) aplicó fertilizante químico, mientras el 46,5 % usó fertilizantes orgánicos (DANE, 2016) (figura 62).

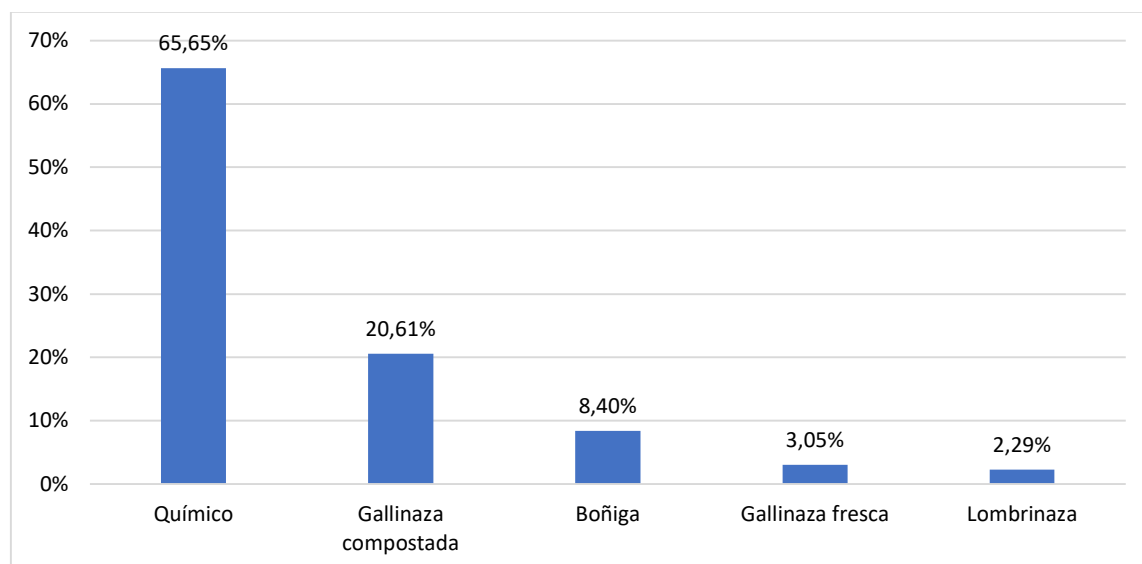


Figura 62. Fertilizantes utilizados.
Fuente: Elaboración propia

Para el caso de los municipios con producción de frijol, visitados en el Caribe seco, el 84,21 % de los productores declara que sí fertilizan, y el 15,79 % asegura que no lo hace. A la pregunta sobre el tipo de fertilizante usado para el cultivo de frijol los productores respondieron que realizan esta labor con fertilizante químico (65,65 %), gallinaza compostada (20,61 %), boñiga (8,40 %) y gallinaza fresca (3,05 %).

En la zona andina colombiana, bajo clima medio, donde se cultivan los frijoles arbustivos, se presentan características limitantes como acidez, limitaciones nutricionales y desbalance en la proporción y aluminio con valores que alcanzan hasta el 60 % de las bases intercambiables (Arias et al., 2007). Estas características son similares a las observadas en Sierra Nevada de Santa Marta (IGAC, 2012).

El frijol común responde con incremento en la producción de grano a la aplicación de fertilizantes fosforados (Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria [INTA], 2009). En los planes de fertilización es necesario considerar el tipo de molécula y la proporción del nitrógeno en el fertilizante, pues adiciones elevadas pueden ocasionar tallos débiles y mayor producción de follaje, respecto a raíces y legumbres. Adicionalmente, no se tiene en cuenta el aporte de los *Rizobios* a la economía del nitrógeno de la planta. Por otro lado, el cultivo requiere cantidades significativas de potasio y calcio en relación 15:1. Debido a la duración del cultivo, para el aprovechamiento efectivo, este debe aplicarse al momento de la siembra y a partir de un plan de fertilización, derivado de la interpretación de los resultados de análisis del suelo (Fenalce, 2010).

Las diferencias varietales inciden en la toma, acumulación, translocación y uso de nutrientes, por lo que algunos cultivares pueden ser más exigentes que otros y demandan un ajuste en las cantidades de fertilizantes de acuerdo con las características genéticas de cada cultivar. Estos elementos se reflejan en frijol, especialmente en la respuesta de materiales de diferentes hábitos de crecimiento y entre aquellos precoces y tardíos (INTA, 2009).

De acuerdo con Flor (1985), para obtener $1,0 \text{ t.ha}^{-1}$, el frijol absorbe las siguientes unidades de nutrientes (tabla 7).

Tabla 7. Extracción de minerales por la planta de frijol

Contenido de cada elemento en madurez de cosecha	Legumbre (kg)	Solo semilla (kg)	TBrote (kg)	Planta completa (kg)
Nitrógeno	37	35	65	102
Fósforo	5	5	5	10
Potasio	22	5	71	93
Calcio	4	-	50	54
Magnesio	4	-	14	18
Azufre	15	10	15	25

Fuente: Basado en Flor (1985)

Por su parte, la Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas (Fenalce, 2010) sugiere las siguientes dosis de fertilización (tabla 8) descritas como una orientación general, pues cada sistema de producción o situación particular deben ser ajustadas en función de los resultados del análisis químico de suelo y los análisis foliares.

Tabla 8. Dosis de fertilización

Nutriente	Absorción (kg. ha ⁻¹)	Dosis recomendada	Frecuencia de Aplicación	Fuente	Cantidad (kg.h ⁻¹)
Nitrógeno (N)	111	Independiente del análisis de suelo 90 kg.ha ⁻¹	Dos aplicaciones: la primera (50 %) a la siembra y una segunda (50 %) a los 30 días después de la primera, es decir en prefloración	Sulfato de amonio	151
Fósforo (P ₂ O ₅)	16	90 kg.ha ⁻¹	Dos aplicaciones: la primera (50 %) a la siembra y una segunda (50 %) a los 30 días después de la primera, es decir en prefloración	Superfosfato triple	375
Potasio (K ₂ O)	89	Ajustarse con el Análisis de suelo. 120 kg.ha ⁻¹	La aplicación debe ser 100 % a la siembra	KCl	200
Calcio	54	Si se encuentra deficiente se recomienda aplicar 66 kg.ha ⁻¹	Enmiendas antes de la siembra con base al análisis de suelo. La aplicación 100 % a la siembra	Cal dolomítica	300
Magnesio (MgO)	18	Si se encuentra deficiente se recomienda aplicar 30 kg.ha ⁻¹	Enmiendas antes de la siembra con base al análisis de suelo. La aplicación 100 % a la siembra		
Azufre (S)	25	31 kg.ha ⁻¹	La aplicación 100 % a la siembra	Sulfato de amonio	
Materia orgánica		> 2,5 %	La aplicación 100 % a la siembra	Vermicompost	800 kg.ha ⁻¹

Fuente: Fenalce (2010b)

De acuerdo con las dosis planteadas por Fenalce (2010), en tres zonas productoras del país, se encontró que el índice de cosecha de nitrógeno fue de 0,52-0,64; para fósforo, 0,64; para potasio, 0,24-0,39; para magnesio, 0,24, y para azufre, 0,40. Estos resultados indican la importancia de la reincorporación de los residuos de cosecha. La omisión de nitrógeno afecta el rendimiento, especialmente en aquellas localidades con $MO > 2,5\%$. La omisión de calcio disminuyó el rendimiento especialmente en aquellas localidades con altos contenidos de aluminio intercambiable. La materia orgánica afectó el rendimiento de grano en todas las localidades, y dado que la eficiencia de los nutrientes fue baja se sugiere fraccionar, usar fertilizantes de lenta liberación y estrategias de reducción de pérdidas (tabla 8).

Al igual que las demás especies pertenecientes a la familia de las leguminosas, el frijol tiene la capacidad de realizar asociaciones simbióticas con bacterias fijadoras de nitrógeno, cuya infección ocasiona modificaciones en la morfología radical en típicos nódulos o protuberancias, donde prolifera la bacteria y le confiere condiciones microaerófilas pues el oxígeno le resta eficiencia a la fijación del nitrógeno atmosférico. Sin embargo, la alta radiación y temperaturas observadas en la costa Caribe pueden afectar tanto la nodulación como el número de nódulos efectivos (Tofiño et al., 2016a). Por lo tanto, la fertilización química podría complementarse con adición de bioinsumos y materia orgánica (Gómez, 2017). Bajo las condiciones del Caribe seco, donde predomina el contenido bajo de materia orgánica, altas temperaturas y radiación solar, la efectividad de la asociación simbiótica puede comprometerse. Debido a ello, se recomienda la inoculación de las semillas con biofertilizantes, pues las bacterias nativas en muchos casos pueden presentar baja eficiencia (INTA, 2009).

Riego: fuentes hídricas y tipo de riego

El 47,8 % de las UPA son regadas con agua proveniente de río, quebrada, caño o manantial, y el 33,7 % depende de las UPA de agua lluvia (DANE, 2016).

La humedad del suelo, ideal para el cultivo de frijol, se da al 70 % de la capacidad del campo, y es susceptible tanto al déficit hídrico como al encharcamiento, pues ambos afectan la productividad dependiendo de la intensidad y la duración

(Ortubé, Aguilera, & Manchera, 1994). En este sentido, el encharcamiento afecta el ciclo del nitrógeno, lo cual repercute en el desarrollo del brote, además promueve la presión de patógenos del suelo (ICA, s.f.b).

En el caso del Caribe seco, alrededor del 33 % de los productores encuestados no cuentan con sistema de riego para el cultivo de frijol. En el grupo de productores que acceden al riego tienen como primera fuente las aguas corrientes con 42,03 %, dependen del agua lluvia el 37,68 %, el 5,80 % tiene acceso a agua subterránea o puntillo, el 7,25 % a agua de distrito de riego y el 4,62 % obtiene el agua de lagunas, lagos o reservorios (figura 63). Sin embargo, es relativamente alto el porcentaje de productores que manejan una alta incertidumbre, debido a los efectos de la variabilidad climática.

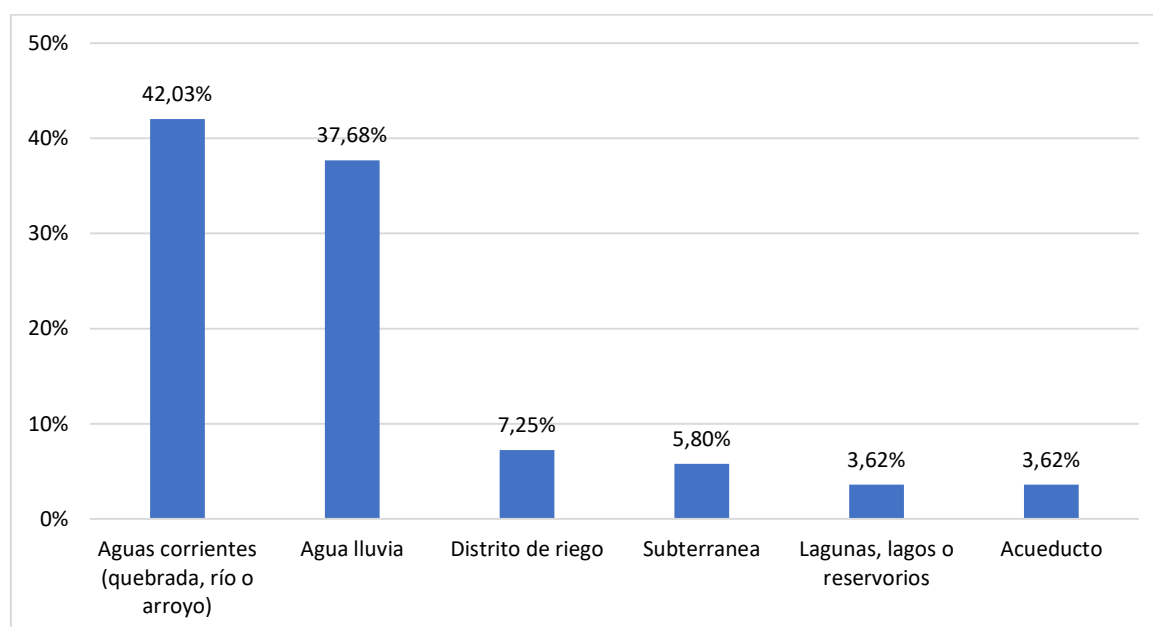


Figura 63. Origen del agua para riego del frijol en el Caribe seco.

Fuente: Elaboración propia

El 34,34 % de los productores afirma que riega su cultivo con un sistema dirigido por manguera, el 21,12 % riega con aspersor, el 9,09 % tiene riego por gravedad y el 3,03 % por goteo (figura 64).

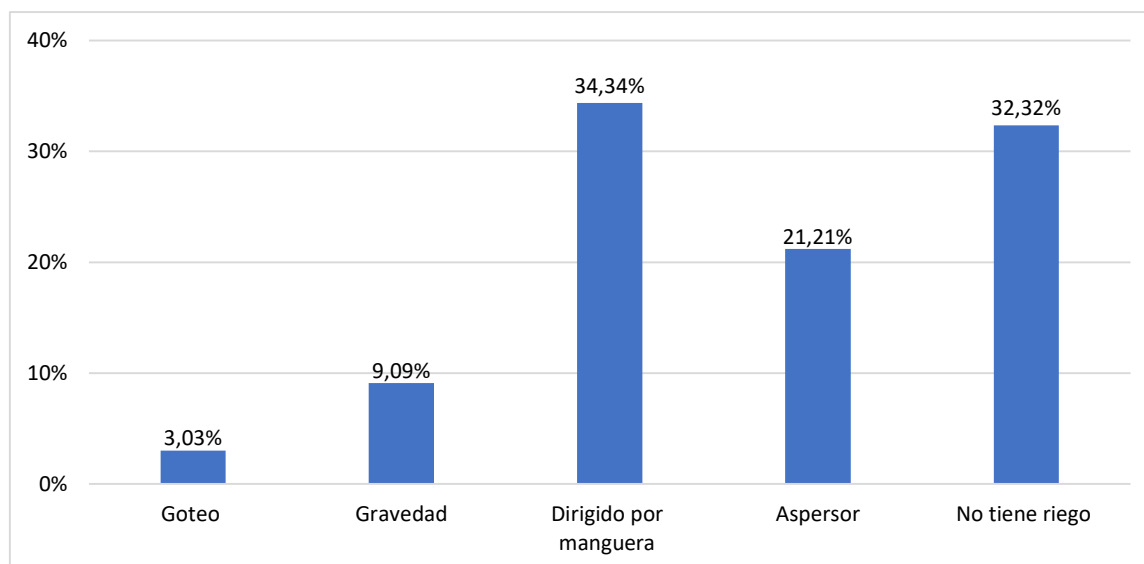


Figura 64. Tipo de riego utilizado.

Fuente: Elaboración propia

Los productores participantes en los talleres afirman en un 37,50 % que riegan únicamente en época seca, el 25 % riega sin ningún criterio, el 16,67 % lo hace por calendario (es decir, ya tiene unos días establecidos según la etapa fenológica del cultivo), el 11,11 % lo hace cuando el cultivo presenta marchitez, el 5,56 % según recomendación del técnico y el 4,17 % riega luego de la prueba del tacto (figura 65). Lo anterior demuestra la deficiencia en el acceso al conocimiento en el manejo eficiente del riego en frijol.

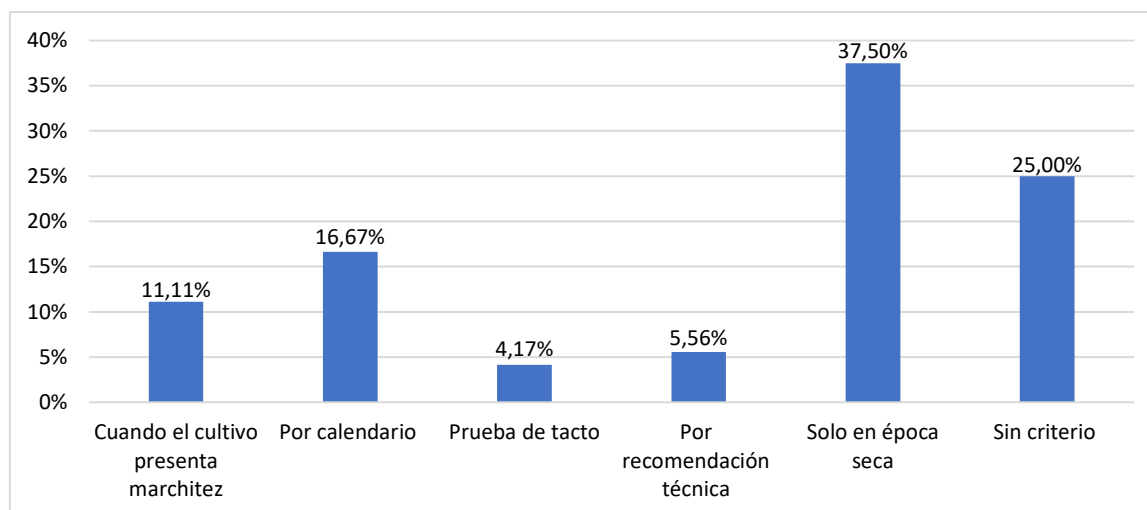


Figura 65. Criterio utilizado para tomar decisión de riego.

Fuente: Elaboración propia

El frijol es un cultivo altamente susceptible al déficit hídrico, así como a los excesos de humedad, por lo tanto, se requiere un plan de suministro de agua durante el ciclo del cultivo en campo, hasta la etapa de llenado de vainas. En este sentido, para los 87-90 días después de la siembra de duración de frijol arbustivo en zona Caribe, se requiere riego suplementario hasta 55 días después de la siembra. De 2 a 3 riegos eficientes por semana son suficientes para el buen desarrollo y producción de semilla (Lardizábal et al., 2013). La exigencia hídrica del frijol ha generado la estacionalidad del cultivo en la mayoría de los agricultores minifundistas que se dedican a explotarlo, debido a que las siembras dependen en muchos casos de los regímenes de lluvia presentados en las zonas productoras (Tofiño et al., 2016a).

El requerimiento hídrico del frijol puede variar desde 200-500 mm según la variedad durante su desarrollo fenológico (60-120 días), según características climáticas de la zona. En general, se registra que las necesidades hídricas del cultivo de frijol común son variables en cada etapa fenológica; también es importante tener en cuenta la eficiencia del sistema de riego, las pérdidas por la evapotranspiración de referencia ET_0 y las propias de cada suelo debido al escurrimiento y la percolación, pues los requerimientos están dados en términos de láminas efectivas. En este sentido, antes de la floración, se indica una lámina

diaria efectiva de 3,5 mm, a lo largo de la floración 6 mm diarios y desde el inicio del desarrollo de las legumbres hasta el llenado de grano 5 mm. A partir de este momento debe restringirse el riego para facilitar la maduración (INTA, 2009). El déficit de humedad antes de la floración reduce el número de vainas. Se ha reportado en frijol que, en presencia de bajas cantidades de agua, la acumulación de materia seca en las hojas es menor; al aumentar el agua la biomasa se acumula en los granos. Por ejemplo, las variedades Porrillo y Calima se obtuvieron con láminas de 229 mm y 199 mm respectivamente, bajo condiciones de invernadero en Palmira. Algunas variedades como Porrillo presentan una correlación altamente significativa entre la lámina de agua aplicada y el número de vainas, a diferencia de otras como la Calima que no muestran correlación (Movilla, González, & Marulanda, 1986). Específicamente, en el caso de la variedad arbustiva Calima, la programación de riegos hasta floración puede realizarse con un factor K de 0,3. En la época de llenado de vainas, las dos variedades requieren niveles altos de humedad, siendo el valor mínimo de K de 0,7 (Calima) y 1,0 (Porrillo), (Movilla et al., 1986; Pedroza et al., 2013).

La variabilidad en la información disponible indica que es importante avanzar en la definición de las necesidades hídricas específicas en las variedades más cultivadas en la zona, como estrategia de optimización del suministro de agua. Sin embargo, atendiendo la información suministrada en campo, podría definirse el momento adecuado de aplicación del riego en frijol cuando se cuenta con un pluviómetro, un termohigrómetro y se realiza la prueba de humedad del suelo por el puño.

Malezas

Córdoba Gaona y Casas Moreno (2003) registraron que las disminuciones en el rendimiento de grano de frijol, debido a la competencia por luz y nutrientes ejercida por las arvenses, pueden variar entre el 15-97 % dependiendo del tamaño de las arvenses, su porcentaje de infestación y el efecto químico inhibidor sobre el crecimiento del frijol que pueden ejercer algunas malezas. Sin embargo, es recomendable mantener en las calles malezas que no superen la altura del frijol, para favorecer la permanencia de insectos benéficos (Leihner et al., 1988; Ríos et al., 2003). Algunas de las arvenses identificadas en suelos frijoleros del departamento del Cesar se identifican en la tabla 9.

Tabla 9. Principales malezas referidas por los productores y encontradas en campo

Coquito (<i>Cyperus rotundus</i> L.)	Bledo (<i>Amaranthus dubius</i>)
	
Salvia (<i>Salvia cardiophylla</i> Benth)	Pata de gallina (<i>Digitaria sanguinalis</i>)
	
Verdolaga (<i>Portulaca oleracea</i>)	Leucaena (<i>Leucaena leucocephala</i>)
	
Escobilla (<i>Diadesma rhombifolia</i> L.)	
	

Fuente: Elaboración propia

Fotos: Griselda Gómez y Yanine Roza

El control químico de arvenses se realiza antes de la siembra del frijol, en posemergencia, y después de la siembra en preemergencia (Román & Arias, 1995). En la región es usual la aplicación de glifosato antes de la siembra del frijol. Sin embargo, este producto deprime los microorganismos del suelo y puede ocasionar toxicidad en las plántulas de frijol (Melo et al., 2015), por lo cual se recomienda el uso de productos específicos al cultivo de frijol con menor toxicidad y residualidad para el adecuado control de arvenses, especialmente en zonas de alta presión como el Caribe seco. Se aconseja preparar el suelo con al menos 25 días de antelación a la fecha programada de siembra, para realizar un adecuado control posemergente (previo a la siembra) y preemergente (posterior a la misma).

Después de la preparación del lote, se aplica un riego para que emerjan las malezas, y se realiza un control químico en posemergencia, antes del inicio del semillado. Se puede aplicar glifosato 3 l/ha pero, debido a los reportes del daño ambiental que genera el producto, se hace necesario aplicar productos selectivos. Se puede aplicar 3,5 l/ha de pendimetalina, incorporados en presiembra o sobre el suelo recién sembrado y bien húmedo. En postsiembra se ha registrado como efectiva la aplicación de 50 cc/bomba de Clethodim para el control de gramíneas y 30 cc/bomba de Fomesafen (ojalá con pantalla). También se ha referido que, en el control de malezas durante el desarrollo del cultivo, puede utilizarse la mezcla Fluazifop Butil + Fomesafén 0,125 + 0,25 kg i.a./ha efectivo en lotes con presencia moderada de arvenses de hoja ancha y angosta (INTA, 2009). En la zona, los productores refieren un manejo de arvenses con productos de alta toxicidad y residualidad, en un esquema que incluye en posemergencia, antes de la siembra, 3,5 kg/ha de producto con glifosato 680 g/kg; 1,5 l/ha de producto con 200g/l de 1,1'-dimethyl-4,4'-bipyridylum dichlorid; y 0,1 kg/ha de producto con Halosulfuron - methyl 750 g/kg. Adicionalmente, inmediatamente después de la siembra aplican 0,6 l/ha de producto con pendimetalina 400 g/l. Mientras las plantas cierran en dosel, el control de arvenses en el surco se realiza manualmente para evitar daños en tallos y raíces, especialmente en aquellos cultivos donde no se aporca (figura 66), pues durante el aporque se controlan arvenses con el azadón frijolero que es más estrecho y puntiagudo.



Foto: Griselda Gómez

Figura 66. Control de arvenses en el Caribe seco.

Resultados en el Caribe seco de la evaluación de diferentes estrategias de control de arvenses asociadas al frijol

Las especies de arvenses identificadas en cultivos de frijol en el Caribe seco corresponden principalmente a *Amaranthus dubius*, *Cyperus rotundus* y *Dracaena fragrans* con una prevalencia de 28,6, 22,0 y 19,9 % respectivamente (tabla 10), lo cual coincide con estudios previos en la zona realizados por Jarma y Tirado (2004) así como por Melo et al. (2015), quienes reportan estas especies en cultivos de hortalizas en el Caribe seco.

Tabla 10. Arvenses identificadas en campo presiembra de frijol, en el Caribe seco

Nombre común	Nombre científico	Infestación en el campo (%)
Coquito	<i>Cyperus rotundus</i>	22,0 ± 2,1
Palo de agua	<i>Dracaena fragrans</i>	19,9 ± 1,5
Bledo	<i>Amaranthus dubius</i>	28,6 ± 1,8
Gramínea caminadora	<i>Rottboellia cochinchinensis</i>	11,6 ± 1,1
Verdolaga	<i>Portulaca oleracea</i>	17,9 ± 2,2

Fuente: Elaboración propia

El glifosato es uno de los productos más utilizados en el control de arvenses posemergentes en la adecuación de lotes, previo a la siembra del frijol en el Caribe seco colombiano (Melo et al., 2015). A raíz de los registros de residualidad de pesticidas en alimentos es necesario reevaluar los beneficios agrícolas de la

aplicación de químicos en el rendimiento de los cultivos en relación con la calidad e inocuidad de estos. Numerosos estudios indican que el tiempo de permanencia del glifosato depende de las características físicas y químicas del suelo estudiado. En este sentido, se registran tiempos de vida media que van desde 55,3 días hasta 3 años (Universidad Nacional del Litoral [UNL], s.f.). En este sentido, Bohm, Genovese, Pigosso, Trichez y Rombaldi (2008) encontraron residuos de glifosato y ácido metilfosfórico en semillas de soya, por encima de los límites máximos de residuos (10 mg/kg), derivado de la aplicación en posemergencia.

Uno de los elementos determinantes en la degradación del glifosato y sus subproductos es la temperatura Rampoldi, Hang y Barriuso (2008), pero su efecto es específicamente sobre el agua disponible para la actividad microbiana en el suelo, y la adherencia del agroquímico por las partículas del suelo como arcilla y materia orgánica. Mientras mayor sea el contenido de agua, se presentará menor adherencia y el producto se perderá a través del perfil del suelo, y los microorganismos incrementarán su velocidad de degradación (Bozzo, 2010).

El efecto del glifosato trasciende su actividad herbicida, pues diversos estudios en el trópico indican que altera además la microbiota, ya sea por el incremento o supresión de la actividad de patógenos en estado latente, bacterias promotoras del crecimiento vegetal y hongos, los cuales posteriormente impactan las plantas no tratadas con glifosato (Kremer & Means, 2009). La Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) avanzó en 2014 en estudios tendientes a disminuir el efecto, sobre las raíces del frijol, del glifosato aplicado entre surcos para el control de arvenses agresivas, por lo cual evaluó el uso de mulch plásticos sobre el surco, donde se estableció el frijol en el municipio de Codazzi (tabla 11).

Tabla 11. Recuento de poblaciones microbianas y géneros identificados en suelo, por cada tratamiento de aplicación de glifosato en el cultivo de frijol

Tratamiento	Bacteria UFC/g	Hongos UFC/g	Actinos UFC/g	Géneros de hongos identificados
Sin control	$4,1 \times 10^5$ b	$6,8 \times 10^2$ a	$1,2 \times 10^5$ b	<i>Aspergillus</i> spp., <i>Trichoderma</i> , <i>Penicillium</i> <i>Rhizopus</i>
Glifosato	$3,6 \times 10^6$ b	$3,2 \times 10^4$ c	$4,2 \times 10^5$ d	<i>Phytophthora</i> , <i>Aspergillus</i> spp., <i>Rhizopus</i> , <i>Penicillium</i> , <i>Fusarium</i>
Glifosato + mulch plástico	$2,0 \times 10^5$ a	$2,2 \times 10^3$ b	$2,5 \times 10^4$ a	<i>Aspergillus</i> , <i>Trichoderma</i> , <i>Rhizopus</i> , <i>Fusarium</i>
Control manual	$1,3 \times 10^5$ a	$7,0 \times 10^2$ a	$1,5 \times 10^5$ b	<i>Aspergillus</i> , <i>Trichoderma</i> , <i>Rhizopus</i>
Labranza mínima	$4,4 \times 10^7$ c	$1,4 \times 10^5$ d	$2,7 \times 10^5$ c	<i>Phytophthora</i> , <i>Aspergillus</i> spp., <i>Rhizopus</i> , <i>Macrophomina</i>

* Valores en una misma columna seguidos de la misma letra no difieren significativamente según Tukey 5 %.

Fuente: Elaboración propia

Los géneros de hongos, identificados en los suelos de manera inicial, indican que previo a cultivo no se presentaban fitopatógenos como sí ocurrió en el manejo con glifosato con y sin mulch y en labranza mínima, lo cual está ligado a diversos factores como la presencia del cultivo, la aplicación del agroquímico e intensidad de manejo agrícola (Melo et al., 2015). Adicionalmente, la calidad microbiológica del cultivo, en términos de la relación entre hongos patógenos respecto a benéficos, solo fue favorable en el tratamiento 3, con control manual de arvenses, en el que además se presentó menor prevalencia de plagas y enfermedades. En el control manual no se identificaron hongos fitopatógenos del suelo; mientras que *Fusarium* solo se identificó en los tratamientos donde se aplicó glifosato, con mulch y sin mulch (Corpoica, 2014). Por su parte, el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) dio a conocer un reporte sobre estudios de riesgo sobre el uso del herbicida, indicando además que se han presentado enfermedades reemergentes causadas por *Fusarium* en cultivos tratados con glifosato, y que además la severidad de los daños también es mayor (Sirinathsinghji & Ho, 2012). Otros estudios, en cambio, señalan que no existe relación directa comprobable entre la aplicación del químico respecto a la prevalencia de enfermedades en los cultivos (Duke et al., 2012). Sin embargo, el mulch plástico incrementó la prevalencia de enfermedades del suelo con y sin aplicación de glifosato (Corpoica, 2014).

Plagas

A continuación, se presentan las plagas que han sido reportadas por los productores y encontradas en las visitas de validación de tecnología de productores:

Trips (*Thrips palmi*- *Frankliniella* sp.)

Es de color amarillento y su tamaño no supera los 2 mm. Estas plagas poseen cuerpo alargado y ocasionan amarillamientos en la planta y en las vainas, debido a que succionan el alimento en las hojas y los frutos. Las larvas y los adultos son los que causan daño al cultivo, y las pupas caen al suelo protegiéndose, por tal razón, se recomienda hacer aplicaciones con insecticidas químicos o biológicos, dirigidas al suelo. En condiciones de verano se presentan las mayores poblaciones; pueden atacar la planta desde los primeros estados de desarrollo del cultivo. Además de atacar las hojas, también dañan las flores y las vainas, pues causan raspaduras que se necrosan, dándole una apariencia marrón o parda a las partes afectadas. Los trips tienen enemigos naturales, como *Chrysoperla externa* que consume larvas y ninfas. El manejo de los trips está orientado a mantener poblaciones no mayores de 9 a 10 adultos o ninfas por folíolo. En el caso de control químico, se evidencian registros exitosos con la aplicación de 25 g/l de solución de producto basado en Fipronil: (±)-5-amino-1-(2,6-dichloro- $\theta\theta\theta$, -trifluoro-p-tolyl)-4-[(trifluoromethyl) lsulfinyl]pirazole-3-carbonitrilo en concentración de 800g/kg (Tamayo & Londoño, 2001).

Crisomélidos, Diabroticas (*Diabrotica balteata*, *Cerotoma* sp.)

Los cucarroncitos, crisomélidos o diabróticas son insectos que se reconocen por la variedad de sus colores (figura 67). En los primeros estados de desarrollo del cultivo, estos insectos comen las hojas y transmiten enfermedades virales; su población aumenta durante el verano (Tamayo & Londoño, 2001). Cuando se observan cuatro adultos por planta de frijol en la primera semana de edad del cultivo o durante la floración, se debe iniciar el control, en cuyo caso se recomienda la aspersión con insecticidas, como Dimetoato (1 a 2 cm³/l), (Diazinón) (1,0 cm³/l) o Carbaril (3 g/l). En otros estados de desarrollo, las plantas de frijol se recuperan del ataque por estos cucarroncitos, por lo que no se justifica su control químico (Tamayo & Londoño, 2001).

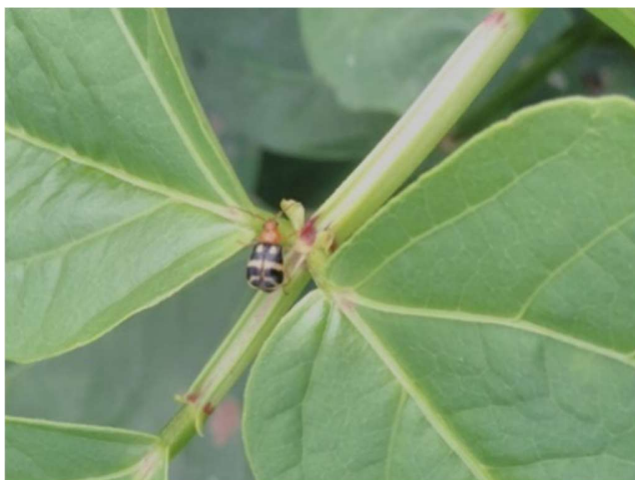


Foto: Yanine Roza Leguizamón

Figura 67. Cucarroncitos o diabroticas.

Mosca blanca (*Bemisia tabaci*)

La mosca blanca es un insecto frecuente y abundante en épocas de sequía. Es un insecto chupador en sus estados inmaduros y en la fase adulta. *Bemisia tabaci* predomina en el trópico bajo y transmite el virus del mosaico dorado del frijol. Existen controles naturales para este insecto, como enemigos naturales: avispas del género *Amitus* sp. que regula sus poblaciones, al igual que el hongo entomopatógeno *Lecanicillium lecanii*. La aplicación de (Carbofuran) (20 a 30 kg/ha) durante la siembra controla el daño (Tamayo & Londoño, 2001) (figura 68).

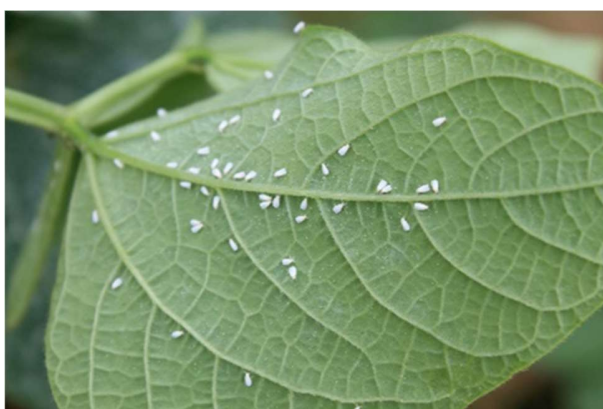


Foto: Yanine Roza Leguizamón

Figura 68. Mosca blanca (*Bemisia tabaci*).

Chiza, mojoy (*Phyllophaga obsoleta*, *Ancognatha scarabaeoides*)

Es una larva (gusano) que ataca las raíces del frijol, lo que causa retraso en el crecimiento y pérdida de plantas durante los primeros estados de desarrollo del cultivo. La estrategia de control, biológico o químico, se establece a mediano y largo plazo, dependiendo de las condiciones del cultivo. El control biológico se puede realizar con el hongo *Metarhiziumanisopliae*, la bacteria *Bacillus popilliae* o con el nemátodo *Steinernema carpocapsae*. Estos microorganismos se encuentran en forma natural en los suelos donde se presentan los daños. La utilización de trampas de luz en los alrededores de los campos de frijol permite capturar los "cucarrones marceños" que son los insectos adultos que colocan los huevos, disminuyendo así la cantidad de huevos y larvas de chizas en el futuro. Respecto al control químico, Carbosulfan (2,5 a 3,0 l/ha) reduce los daños por la chiza cuando se aplican al surco en el momento de la siembra. Si el daño persiste puede repetirse la aplicación durante el aporque (Tamayo & Londoño, 2001) (figura 69).



Foto: Banco de imágenes de Corpoica

Figura 69. Chiza o mojoy.

Minador (*Liriomyza huidobrensis*)

El daño causado por minador es característico, dado que las diminutas larvas realizan galerías en el mesófilo a lo largo de las nervaduras principales y secundarias (figura 70a y b). Los ataques por las larvas del minador *Liriomyza* sp.

se localizan a lo largo de las nervaduras, son de color rojo claro y transparentes cuando se observan a trasluz. Se recomienda aplicar, en zonas de alta presión del minador, Diazinón (1 cm³/l), Carbosulfan (1,25 cm³/l) con la semilla al momento de la siembra (Tamayo et al., 2013).



Foto: Yanine Roza Leguizamón y Griselda Gómez

Figura 70. Daños causados por minador. a. Minador (*Liriomyza huidobrensis*); b. Daño en la planta de frijol, generado por minador.

Lorito verde (*Empoasca kraemerii*)

El lorito verde es una plaga abundante y de importancia en épocas de verano, cuando sus poblaciones aumentan y pueden llegar a afectar con severidad el cultivo. Tanto los adultos como los estados inmaduros succionan la savia en el envés de la hoja, produciendo enroscamiento. La floración es el periodo crítico en el cual la presencia de lorito verde afecta el rendimiento. La rotación de cultivos y la siembra en épocas lluviosas disminuye la incidencia del lorito verde. El uso de coberturas de paja reduce las poblaciones de la plaga y contribuye a su control. El control químico puede realizarse con Dimetoato (1 a 2 cm³/l), Clorpirifós + Cipermetrina (2,5 cm³/l) (Tamayo & Londoño, 2001).

Babosas (*Vaginulus plebeius*, *Limas maximus* y *Deroceras agreste*)

Las babosas afectan el cultivo al consumir las hojas; la mayor parte del daño se observa en los bordes de los cultivos, cuando alrededor del cultivo se mantienen residuos o buena vegetación como protección. Son de hábito nocturno, aunque pueden afectar en días nublados. Para su control se deben erradicar malezas y residuos vegetales de cultivo y de los alrededores. También se debe usar cebo

molusquicida a lo largo de los surcos o zonas con mayor presencia de la plaga. Otra medida es el uso de cal viva, sal y ceniza de leña (figura 71) (Arias et al., 2007).

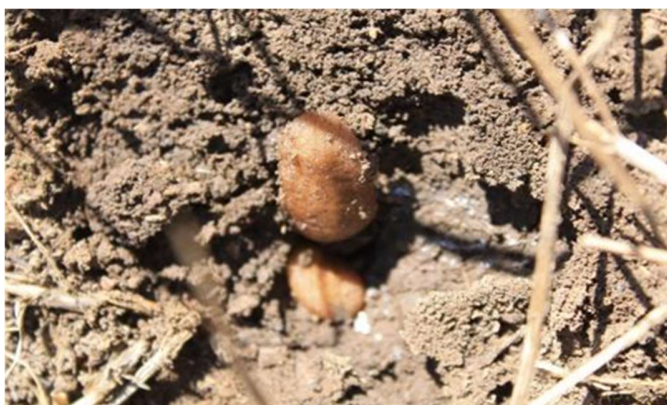


Foto: Yanine Rozo Leguizamón

Figura 71. Babosas en cultivo de frijol en Pueblo Bello, Cesar.

Gusano medidor (*Trichoplusia*)

Estado larval de color verde, con rayas laterales de amarillo pálido; el adulto es una palomilla de color café. Las larvas consumen hojas y vainas y, sin un adecuado control, las poblaciones llegan a afectar los rendimientos del cultivo. Cuando el daño de la hoja es superior al 20 % se recomienda el uso de insecticidas como Clorpirifós (figura 72).



Foto: Yanine Rozo Leguizamón

Figura 72. Gusano medidor en cultivo de frijol en Manaure, Cesar.

Gorgojo (*Acanthoscelides obtectus*, *Zabrotes subfasciatus*)

Acanthoscelides obtectus, *Zabrotes subfasciatus*. La larva del gorgojo atraviesa el grano y se desarrolla en el interior de este. Para su control, se recomienda dejar el frijol almacenado sin desgranar por cortos periodos. Para el control químico de los gorgojos, en almacenamiento se recomienda la aplicación de Permetrina (5 cm³/l) rociado en sacos, pisos y paredes de la bodega (Tamayo & Londoño, 2001) (figura 73).



Foto: Rafael de Oro

Figura 73. Gorgojo del grano en Codazzi, Cesar.

Recomendaciones generales sobre el control de plagas en frijol

El control cultural de plagas incluye actividades preventivas, como la buena preparación del suelo para la destrucción de las larvas (Román & Arias, 1995), aunque este procedimiento es limitado en pendientes, donde solo se mueve el sitio donde se planta la semilla. Otras recomendaciones son la destrucción de residuos de cosecha, albergue de plagas residuales; desyerbas moderadas, evitando las malezas más altas que la planta en las calles y eliminando las hospederas secundarias, así como ubicar arvenses trampa en las inmediaciones del lote. Respecto a la elección de insecticidas se aconseja el uso de productos con acción específica, pues los de amplio espectro afectan los enemigos naturales de las plagas y pueden ocasionar resistencia al ingrediente activo. También es recomendable rotar el ingrediente activo utilizado entre cosechas. En todo caso, un control químico eficiente de artrópodos plaga se obtiene a partir de las recomendaciones de un técnico (Román & Arias, 1995).

Enfermedades

El frijol es afectado por múltiples factores, que reducen el rendimiento hasta en un 50 %, como la alta temperatura, la aplicación indiscriminada de agroquímicos y las enfermedades causadas por patógenos de la raíz y del brote (Melo et al., 2015). En la Costa Atlántica el control de arvenses en el cultivo de frijol es crítico, dado que estas plantas acompañantes pueden ser hospederas de plagas como *Empoasca*, *Diabrotica*, ácaros, *Heliothis* y agentes patógenos como *Ascochyta*, *Pythium*, *Cercospora*, *Uromyces*, *Sclerotinia*, *Pseudomonas*, virosis, nemátodos y micoplasmas (Doll, 1983). Este aspecto es de gran relevancia, pues la mosca blanca es vector del virus del mosaico dorado que ocasiona grandes pérdidas en el cultivo de frijol (Cuéllar & Morales, 2006). Sin embargo, a pesar de que se han definido diversas escalas para medir la severidad de las infecciones virales y otras enfermedades del frijol, no necesariamente estos daños se correlacionan con la disminución en el rendimiento; por eso es necesario realizar ambas estimaciones en las etapas de prefloración y posfloración (Van Schoonhoven & Pastor-Corrales, 1991).

Diferentes estudios sobre la interacción hospedero-patógeno en frijol han evidenciado la relación existente entre el acervo genético originario de los cultivares y las cepas, en tres de las enfermedades fúngicas de mayor importancia económica como *Colletotrichum lindemuthianum*, *Phaeoisariopsis griseola* y *Uromyces appendiculatus*. La mayor diversidad genética encontrada en el germoplasma mesoamericano también se encuentra en la patogenicidad de las cepas correspondientes a ese acervo, por lo cual una mayor proporción de las cepas mesoamericanas afectaron al germoplasma andino de frijol, mientras que una baja proporción de cepas de origen andino afectaron las plantas de origen mesoamericano. Estas enfermedades van a mostrar severidad diferencial, dependiendo del origen genético de germoplasma, siendo los genotipos mesoamericanos los que cuentan con mayor diversidad en genes de resistencia frente a estos patógenos altamente limitantes del cultivo en Centroamérica y Colombia (Araya & Hernández, 2007). Dentro de las enfermedades del suelo que afectan el frijol se encuentran las producidas por hongos fitopatógenos como *Phaeoisariopsis griseola* Sacc., *Fusarium oxysporum*, *Pythium* spp., *Rhizoctonia solani* Kuhn, *Uromyces* spp. y *Macrophomina phaseolina* (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA], 2008).

De acuerdo con los resultados de los talleres por consenso desarrollados en el Caribe seco y las visitas técnicas de validación de tecnología de producción, se identificaron las siguientes enfermedades de importancia económica del frijol:

Mustia hilachosa

El agente etiológico de la enfermedad es *Thanatephorus cucumeris*, que corresponde al teleomorfo o fase sexual de *Rhizoctonia solani*. Al inicio de la infección se observan, en el follaje, halos acuosos de coloración más clara que el tejido circundante. Las manchas incrementan su tamaño, se tornan necróticas y con bordes muy oscuros. Cuando las condiciones ambientales favorecen el desarrollo del patógeno puede observarse el crecimiento hifal, que adquiere la forma de una telaraña, de la cual se deriva su nombre común. El impacto económico es considerable y se debe al nivel alto de la abscisión foliar que produce la enfermedad. La mustia se presenta bajo condiciones de alta temperatura ($> 24^{\circ}\text{C}$) y humedad relativa (80 %), que se evidencian en el Caribe seco en época lluviosa. El control de la enfermedad incluye el uso de variedades tolerantes o resistentes si hay disponibles, cultivo con mínima labranza y utilización de coberturas del suelo como residuos de maíz, sorgo o del control mecánico de arvenses; también es necesario reducir la presión del inóculo con fungicidas específicos como benomilo (Rodríguez, Lorenzo, De Gracia, González, & González, 1997) (figura 74).



Foto: Yanine Roza Leguizamón

Figura 74. Mustia hilachosa en cultivo de frijol en Caribe seco.

Antracnosis

Es una de las enfermedades más presentadas en el cultivo de frijol en Colombia, aunque es más común su presencia en alturas superiores a los 1.500 m s. n. m. (Tamayo, Otoya, & Pastor-Corrales, 1995); se ha encontrado en climas cálidos, en temporadas de lluvias persistentes. Su mayor afectación se encuentra especialmente en la floración y formación de vainas, momento en que se deben tomar medidas de control extremas, ya que si se deja avanzar el hongo penetra la semilla y se disemina por este medio. Para el control cultural de la antracnosis se recomienda ampliar las distancias de siembra y rotar con cultivos no hospederos del hongo. También es aconsejable la eliminación inmediata de los residuos vegetales de frijol infectados. En cuanto al control químico de la enfermedad, se puede controlar con aspersiones foliares de fungicidas, como benomilo (0,5 g/l) (Tamayo et al., 2013). Los síntomas de la enfermedad son más visibles en la vaina, en el envés de las hojas, los pecíolos y el tallo (figura 75).



Foto: Yanine Rozo Leguizamón

Figura 75. Vaina afectada por antracnosis en Manaure, Cesar.

Marchitamiento por *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli*

Los síntomas causados por *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli* se registran durante la floración y se caracterizan por un amarillamiento que conduce al marchitamiento súbito de la planta. Este patógeno parasita las raíces y ocasiona la pudrición no acuosa de los haces vasculares que se acentúan en la base del tallo. Esta enfermedad presenta gran importancia económica y el control se dificulta, pues se transmite a través de la semilla. Se han identificado labores culturales que disminuyen el efecto del patógeno como el aporque alto de las

plantas y la rotación con cultivos no susceptibles como maíz, sorgo, entre otros (Tamayo et al., 2013). En el caso del control químico se han registrado controles exitosos con el tratamiento de la semilla: las semillas de frijol se deben tratar con fungicidas como Benomil (2 a 8 g/kg), Captan (1,0 a 2,5 g/kg) (Tamayo & Londoño, 2001) (figura 76).



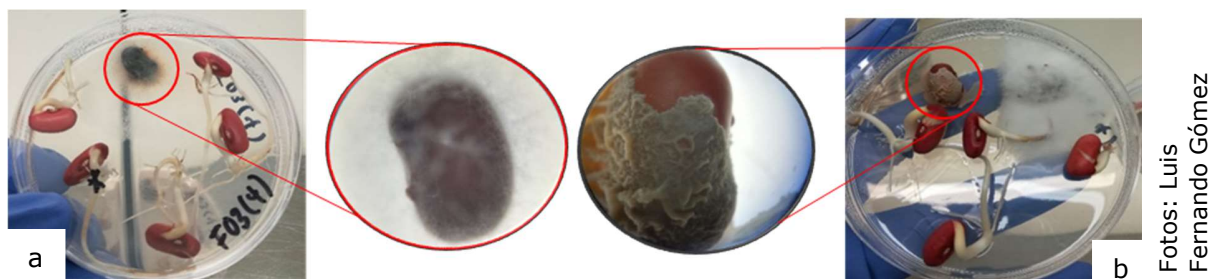
Foto: Yanine Roza Leguizamón

Figura 76. Raíz de frijol arbustivo afectada por *Fusarium*, Caribe seco.

Aislamiento e identificación de hongos y bacterias provenientes de semillas de frijol colectada en campos de cultivo

A modo general, se aislaron 46 morfotipos fúngicos y 5 morfotipos bacterianos, a partir de las semillas de frijol. Teniendo en cuenta las características macroscópicas como forma, textura y color de las colonias, y características microscópicas como presencia de septos en las hifas, ramificación de las hifas, estructuras reproductivas y presencia y forma de conidias y esporas (en los casos donde aplicara), se realizó la identificación de los hongos obtenidos.

De esta manera, se identificaron los siguientes hongos fitopatógenos asociados a la semilla de frijol: *Fusarium* sp., *Macrophomina phaseolina*, *Rhizoctonia* sp., y *Colletotrichum* sp. También se obtuvieron dos morfotipos que no pudieron ser identificados (M1 y M2) (figura 77).

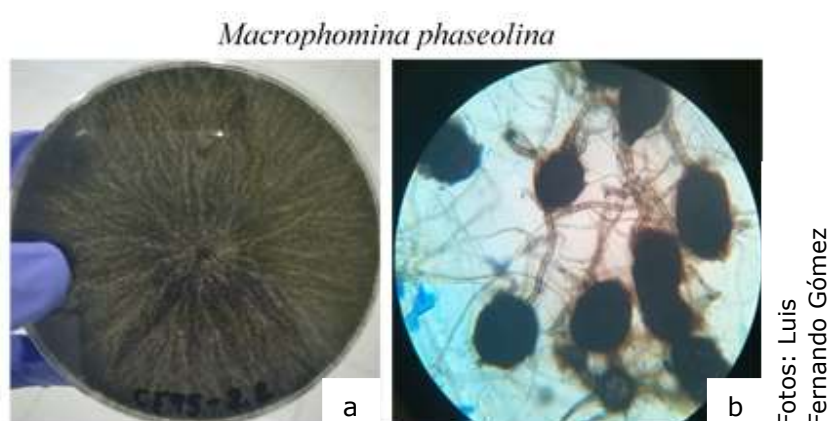


Fotos: Luis
Fernando Gómez

Figura 77. Micelio fúngico y colonias bacterianas. a. Desarrollo de micelio fúngico; b. Colonias bacterianas sobre semillas de frijol después de cinco días de incubación.

Macrophomina phaseolina

Macrophomina phaseolina fue el hongo con mayor incidencia, lo que podría indicar una mayor susceptibilidad a este fitopatógeno. Esto se evidencia aún más si tenemos en cuenta que presentaron las tasas más bajas de germinación de semillas (figura 78).



Fotos: Luis
Fernando Gómez

Figura 78. *Macrophomina phaseolina* aislado a partir de semillas de frijol. a. Observación macroscópica; b. Observación microscópica 40X.

Fusarium sp.

Fusarium sp. también presenta una incidencia relativamente alta, con un 16,6 % de las semillas infectadas, en promedio, aunque aparentemente esto no influyó en la tasa de germinación general del ensayo (figura 79).

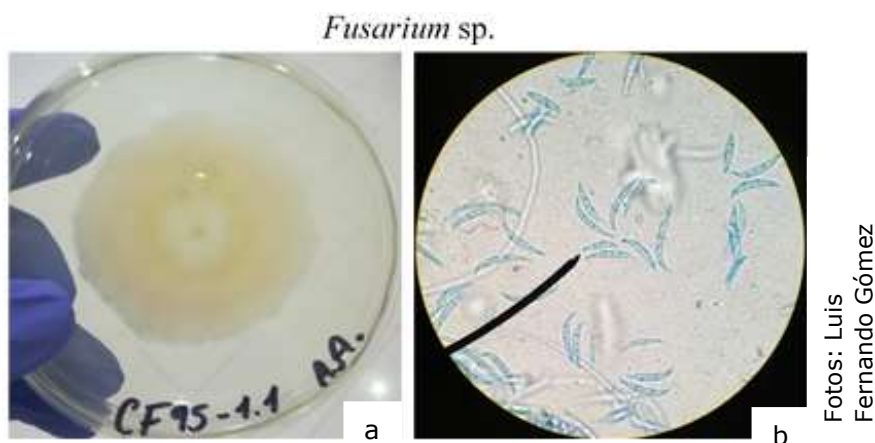


Figura 79. *Fusarium* sp. aislado a partir de semillas de frijol. a. Observación macroscópica; b. Observación microscópica de macroconidias 40X.

Rhizoctonia sp.

Rhizoctonia sp. este hongo presentó dos morfologías diferentes, por lo que podría tratarse de dos especies diferentes (figura 80). Mientras que *Colletotrichum* sp. presentó la menor incidencia (figura 81).

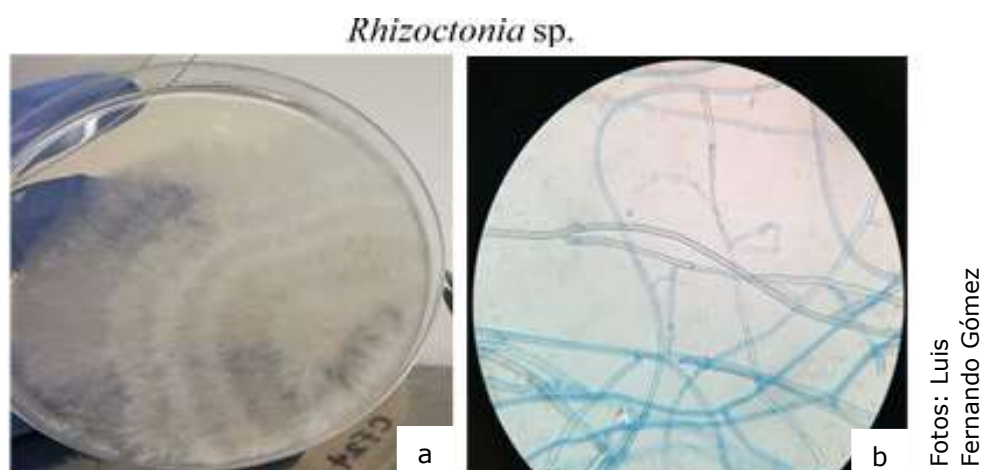
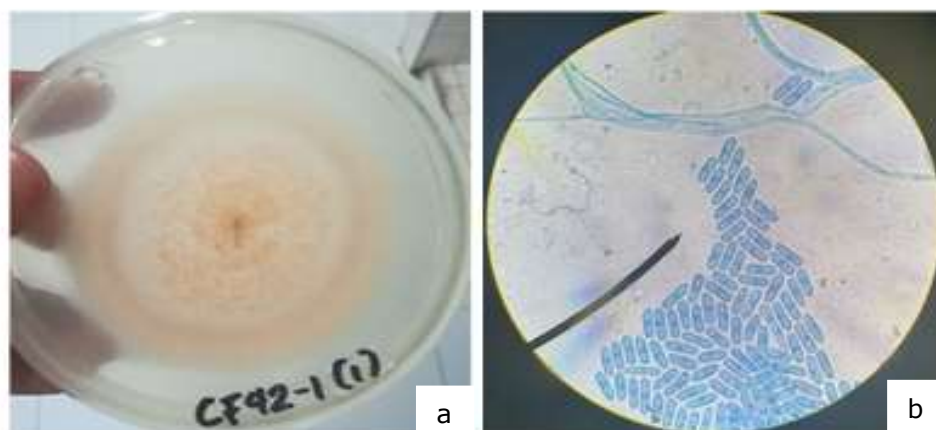
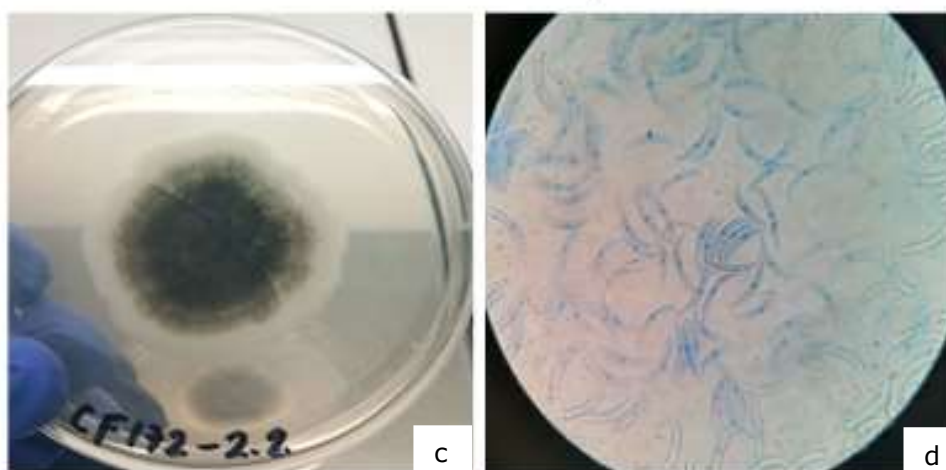


Figura 80. *Rhizoctonia* sp. aislado a partir de semillas de frijol. a. Observación macroscópica; b. Observación microscópica de las hifas 40X.

Colletotrichum gloesporioides



Colletotrichum sp.



Fotos: Luis Fernando Gómez

Figura 81. *Colletotrichum* sp. aislado a partir de semillas de frijol. a. Observación macroscópica; b. Observación microscópica de hifas y estructuras reproductivas 40X; c. Observación macroscópica; d. Observación microscópica de hifas y estructuras reproductivas 40X.

Con respecto a los aislamientos fúngicos, debido a que los géneros identificados son catalogados como fitopatógenos potenciales, particularmente de gran importancia para el cultivo de frijol, debido a que afectan diferentes órganos de

la planta durante todo el ciclo fenológico, se hace necesario implementar planes para un adecuado manejo de la semilla antes de la siembra y un control preventivo mediante aplicación de biofungicidas al suelo durante los primeros dos meses después de la siembra, con el fin de evitar o reducir la proliferación de los hongos en el desarrollo del cultivo.

Alternativas biológicas sostenibles para reducir la incidencia de plagas y enfermedades, y mejorar la nutrición del cultivo

El desarrollo y aplicación de agentes, de control biológico de plagas y enfermedades, adquiere una importancia relevante como una alternativa en el desarrollo de una agricultura sostenible, que preserve los recursos naturales y el medio ambiente, pero además reduzca costos de producción y favorezca el rendimiento del cultivo. En los últimos años se ha comprobado el efecto biocontrolador y estimulador de diversos microorganismos, entre los que se destacan los siguientes géneros.

***Trichoderma* sp.**

Trichoderma sp. ha sido uno de los microorganismos más utilizados en este sentido, con resultados prometedores bajo condiciones *in vitro*, invernadero y campo. Este género de hongos, encontrado en el suelo, presenta un rápido crecimiento y produce un gran número de esporas, que le permite colonizar rápidamente el suelo, lo cual constituye una ventaja a nivel competitivo. Además, produce enzimas (quitinasas, glucanasas y proteasas) capaces de degradar la pared celular de otros hongos, así como componentes con actividad antimicrobiana, convirtiéndolo en un agente controlador de hongos fitopatógenos de importancia. Se ha reportado una disminución del crecimiento *in vitro* de *R. solani* en un 72,7 %, usando cepas de *Trichoderma* en ensayos de confrontación directa. En condiciones *in vivo* (fotoperiodo de 16 h luz, 25 °C/16 °C día/noche y una humedad relativa del 60 %) este microorganismo aplicado sobre semillas de frijol, a una tasa de 45 semillas en 20 mL de suspensión ajustada a una concentración de 2×10^7 esporas mL⁻¹, puede incrementar el tamaño de las plántulas y reducir la incidencia de fitopatógenos después de 45 días de crecimiento (Mayo et al., 2015).

Al evaluar el efecto de la aplicación conjunta de *Trichoderma* y *Bacillus* sobre el crecimiento de plantas de frijol, inoculando las semillas antes de la siembra, usando una formulación con caolín, carboximetilcelulosa (CMC) 2 % p/v y una concentración hongo-bacteria de 10^6 UFC/semilla, se puede evidenciar un incremento hasta de un 43 % en biomasa seca vegetal, así como un mayor desarrollo radicular en las plantas inoculadas, crecidas bajo condiciones de invernadero por un periodo de cuatro semanas. La aplicación de estas mezclas también puede derivar en el control de *R. solani*, bajo condiciones de invernadero, incrementando la supervivencia de las plantas en un 78 % con respecto a plantas enfermas (Yobo, Laing, & Hunter, 2011).

En condiciones de campo hay reportes que sugieren, además de la inoculación de la semilla antes de la siembra, la aplicación del microorganismo al suelo cada 15 días por uno o dos meses después de la siembra, con el fin de mantener la actividad y evitar la proliferación del fitopatógeno (González Rodríguez, Castellanos González, Ramos Fernández, & Pérez González, 2005). La aplicación de *Trichoderma* sp. (Cepa 1) a una dosis de 1500 g de producto por hectárea sobre semillas de frijol antes de la siembra, y su posterior aplicación por aspersión sobre el follaje a los 10, 25 y 40 días después de la emergencia, puede generar, a los 60 días después de la siembra, una reducción hasta del 43 % de una de las enfermedades más importantes en el cultivo de frijol, como es la mustia hilachosa (*Thanatephorus cucumeris*) (Rodríguez et al., 1997), la cual es considerada una enfermedad muy agresiva por la defoliación rápida y drástica que causa, atacando el follaje, tallos, ramas, granos y vainas de la planta en cualquiera de sus estados fenológicos, llegando a causar una destrucción rápida de las plantas atacadas en una o dos semanas, y pérdidas en el rendimiento de hasta 50 % (Rodríguez et al., 1997). El efecto del bioinsumo es evidenciado por un alto porcentaje de germinación de las semillas, la ausencia o reducción de síntomas en la planta en cualquiera de sus estados fenológicos y una reducción de pérdidas en el cultivo. Adicionalmente, la inoculación con este producto a base de *Trichoderma* (Cepa 1) generaría incrementos en el rendimiento del 15 %, como lo soportan Rodríguez et al. (2012).

Es importante mencionar que la cantidad a aplicar y el método de aplicación de cada bioproducto van a estar determinados por la concentración de este y su

presentación (sólida o líquida), pero independientemente de esto, es fundamental seguir las recomendaciones del fabricante (etiqueta del bioproducto), donde se muestran las condiciones y las restricciones bajo las cuales el bioproducto tendrá el efecto esperado. De igual forma, la compatibilidad del bioproducto con agroquímicos debe ser consultada con el fabricante, ya que muchos de estos insumos pueden reducir la actividad del microorganismo, como se ha reportado en algunos estudios (Castellanos González, Lorenzo Nicao, Muiño, Hernández Pérez, & Guillen Sánchez, 2015), donde se muestra un efecto inhibitorio de fungicidas como Folpet (ftalimida), Mancozeb (ditiocarbamato) y Zineb (ditiocarbamato). Por ello, es recomendable tener en cuenta el periodo de carencia de estos agroquímicos, para determinar el periodo de distanciamiento temporal entre su aplicación y la aplicación del bioproducto. Por otra parte, la actividad también se puede ver afectada negativamente por condiciones ambientales adversas como la alta radiación UV y la sequía, por lo que muchos estudios recomiendan su aplicación en horas donde la radiación solar sea baja, y en suelos moderadamente húmedos, lo cual es aplicable a zonas del Caribe, donde predominan estas condiciones adversas.

Algunas presentaciones sólidas de biofungicidas a base de *Trichoderma* presentan una concentración de 1×10^7 UFC g^{-1} y su aplicación se basa en mezclar 100 kg de semilla con 300 g de producto; o si su aplicación es sobre el suelo, se recomienda preparar una suspensión del bioproducto a una tasa de $1,2 \text{ g L}^{-1}$ en la cantidad de agua necesaria, y aplicar utilizando una bomba de aspersión con boquilla de abanico. Otras formulaciones son aún más concentradas (4×10^9 UFC g^{-1}) y se aplican a una tasa de 125 g ha^{-1} en la cantidad de agua necesaria para cubrir la totalidad del área. Mientras que algunas vienen en presentación líquida a una tasa de 4×10^9 UFC mL^{-1} y se aplican a una dosis de 300 mL ha^{-1} .

Bacillus sp.

Son numerosas las investigaciones que se han enfocado en la evaluación de bioproductos a base de bacterias como *Bacillus subtilis* (Kodiak® $3,6 \times 10^9$ UFC g^{-1}), encontrando una importante reducción de enfermedades como la pudrición de la raíz causada por *F. solani*, *R. solani* y *F. oxysporum*, en experimentos bajo condiciones de invernadero y campo, en suelos franco arenosos con un pH entre 6,1-6,7 y concentraciones medias de fósforo (37-54 ppm), aplicando 5 kg ha^{-1}

del producto al suelo en el momento de la siembra, y/o aplicando el producto sobre la semilla ($0,08 \text{ g kg}^{-1}$ de semilla) y 30 días después de la siembra en la base de las plantas, obteniendo incluso beneficios a nivel productivo cuando se usa solo o combinado con bioformulados de bacterias del género *Rhizobium* como principio activo (incremento del 214 % en el rendimiento con respecto al control sin aplicación del producto) (Estevez de Jensen, Percich, & Graham, 2002). Algunos bioproductos a base de *Bacillus* son usados a una concentración de $1 \times 10^8 \text{ UFC mL}^{-1}$ y son aplicados a una tasa de 5 mL L^{-1} de agua, directamente al suelo, al momento de la siembra, con frecuencias de aplicación cada 15-30 días. Este tipo de productos, debido a la capacidad de este género bacteriano para formar endosporas, presenta una mayor compatibilidad o resistencia frente a agentes químicos como fertilizantes, insecticidas, fungicidas y herbicidas. Sin embargo, no se descarta su susceptibilidad a dichos agentes, por lo que es imprescindible verificar las recomendaciones del fabricante y evitar, en la medida de lo posible, el uso simultaneo de agroquímicos con el bioinsumo.

Teniendo en cuenta la ventaja competitiva que les confiere la formación de estructuras de resistencia (endosporas), las bacterias del género *Bacillus* son especialmente aplicables bajo condiciones como el Caribe seco (condición climática semiárida y altas temperaturas), donde, debido a su mayor tolerancia, podrían desarrollar su potencial biocontrolador y promotor de crecimiento de manera gradual, una vez se den las condiciones favorables para su desarrollo, reduciendo la incidencia de fitopatógenos y favoreciendo la asimilación de nutrientes en el cultivo.

***Rhizobium* sp.**

La aplicación de rizobios constituye también un aspecto fundamental, por su capacidad para establecer asociaciones endosimbióticas con leguminosas y fijar nitrógeno atmosférico, supliendo un gran porcentaje de los requerimientos de N de las plantas. Incrementos de hasta un 315 % (con respecto al tratamiento control) se pueden obtener en el número de nódulos por planta, y en la biomasa seca de tallo y raíz en plantas de frijol inoculadas con *Rhizobium* en condiciones de invernadero, inclusive bajo la presencia de patógenos en el suelo y la adición de fungicidas (oxicloruro de cobre), demostrando la importancia de usar este tipo de bacterias en el cultivo de frijol (Muthomi, Otieno, Chemining wa, Nderitu, & Wagacha, 2007).

Bajo condiciones de campo, bioformulados a base de *Rhizobium* (5×10^9 UFC g⁻¹) han sido evaluados al aplicarlos directamente sobre semillas de leguminosas a una tasa de 5 g kg⁻¹ de semilla, generando incrementos en parámetros de crecimiento y en la asimilación de nitrógeno (N) y fósforo (P) en tallo, raíz y grano. Adicionalmente, esta actividad puede verse favorecida con la inoculación de microorganismos como *Trichoderma* y *Bacillus* (solubilizador de fósforo), donde los incrementos en altura de plantas, biomasa seca, número de ramas y rendimiento de grano pueden ser del 100, 100, 201 y 171 %, respectivamente, con relación a la no inoculación. Otro dato interesante es el incremento en el número y el peso de nódulos por planta, el cual está correlacionado con una mayor captación de nitrógeno, producto de la actividad fijadora de nitrógeno por parte de las bacterias (Rudresh, Shivaprakash, & Prasad, 2005).

***Beauveria* sp. y *Metarhizium* sp.**

En cuanto al manejo de plagas se han usado alternativas de control biológico para el control de larvas de coleópteros, usando productos a base de hongos entomopatógenos como *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*, causando porcentajes de mortalidad de larvas jóvenes hasta de un 76,2 y 74,1 %, respectivamente, en condiciones *in vivo*, aplicando el hongo directamente al suelo, a una concentración de $4,8 \times 10^4$ conidias g⁻¹ de suelo para *B. bassiana*, y $10,8 \times 10^4$ conidias g⁻¹ de suelo para *M. anisopliae* (Erler & Ates, 2015).

Sin embargo, el uso de *M. anisopliae* también ha dado muy buenos resultados, bajo condiciones de campo, en el control de mustia hilachosa (*T. cucumeris*). La aplicación de *M. anisopliae* a una tasa de 1000 g de producto comercial por hectárea puede reducir la severidad de la enfermedad hasta en un 56 %, con respecto a plantas no tratadas, 60 días después de la siembra. De la misma manera, este bioproducto genera incrementos hasta del 24 % en el rendimiento del cultivo, con respecto a un control sin inoculación. Dicho producto debe aplicarse en semilla antes de la siembra, y por aspersión sobre el follaje, a los 10, 25 y 40 días después de la emergencia de las plantas (Rodríguez et al., 2012).

Todos estos trabajos ponen en evidencia la importancia de la incorporación de estrategias sostenibles como la biofertilización y el control biológico utilizando microorganismos con potencial en los sistemas agrícolas, lo que conlleva a una

reducción en el uso de agroquímicos, permitiendo una mayor sostenibilidad y una reducción en costos de producción.

Aplicación de compost para el mejoramiento de la calidad de la microbiota del suelo cultivado con frijol

Diferentes mecanismos sugieren el papel de la aplicación de compost para el control de fitopatógenos del suelo, por la promoción de microorganismos benéficos que secretan enzimas líticas y antibióticas, los que compiten por nutrientes o activan genes de resistencia inducida en las plantas. Entre los patógenos de suelo que se inhiben están el *Pythium* spp., *Phytophthora* spp., *Rhizoctonia* spp., y *Fusarium* spp. Muchos estudios revelan que bacterias como *Bacillus* spp., *Enterobacter* spp., *Pseudomonas* spp., *Streptomyces*, spp. y los hongos *Penicillium* spp., *Aspergillus* spp., *Trichoderma* spp., *Gliocladium virens*, entre otros, se han encontrado como agentes biocontroladores en compost producidos a partir de diferentes sustratos (Sabet et al., 2013).

Los estudios que se han realizado sobre el comportamiento de los hongos fitopatógenos de las raíces en cultivos sugieren variabilidad en el grado de expresión de la enfermedad en las raíces, en dependencia de la presión del inóculo del fitopatógeno y las características del suelo que posibilitan la expresión de supresividad. En estudios realizados en México, para el control de los hongos fitopatógenos del suelo, se han utilizado controles biológicos que involucran actividades integradas como adición de materia orgánica, microorganismos antagonistas eficientes, incremento de la diversidad genética mediante la asociación de cultivos, rotaciones entre cultivos alejados filogenéticamente y, en todos los casos, aplicación de materia orgánica de alta calidad, especialmente vermicompost. Los casos exitosos se refieren a cultivos disímiles como aguacate, frijol y cebolla (Zavaleta, Hobbs, & Mooney, 2001).

Asistencia técnica

En este aspecto, el informe de resultados del tercer CNA registra que el 24,2 % de los productores del área rural dispersa ha recibido asistencia técnica, la cual está concentrada en un 61,03 % en los productores de menos de 5 hectáreas. Desde el punto de vista departamental, el Censo expone que el 1,6 % de los

productores del Cesar han recibido asistencia técnica, el 0,8 % de Bolívar, el 1,1 % de Córdoba, el 0,8 % de Magdalena, el 0,6 % de La Guajira, el 0,4 % de Sucre y el 0,1 % del departamento del Atlántico (DANE, 2016).

En el caso de la zona específica de estudio, el 81,18 % de los productores afirma no recibir asistencia técnica, frente al 18,82 % que afirma tenerla, resultados coincidentes con los del CNA; de este porcentaje, el 70,37 % identifica a la UMATA como la entidad que le brinda asistencia, seguido de las casas comerciales, 11,11 % reconoce otro tipo de asistencia (programas específicos) y el 3,70 % se refiere al Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), dentro de las más relevantes (figura 82).

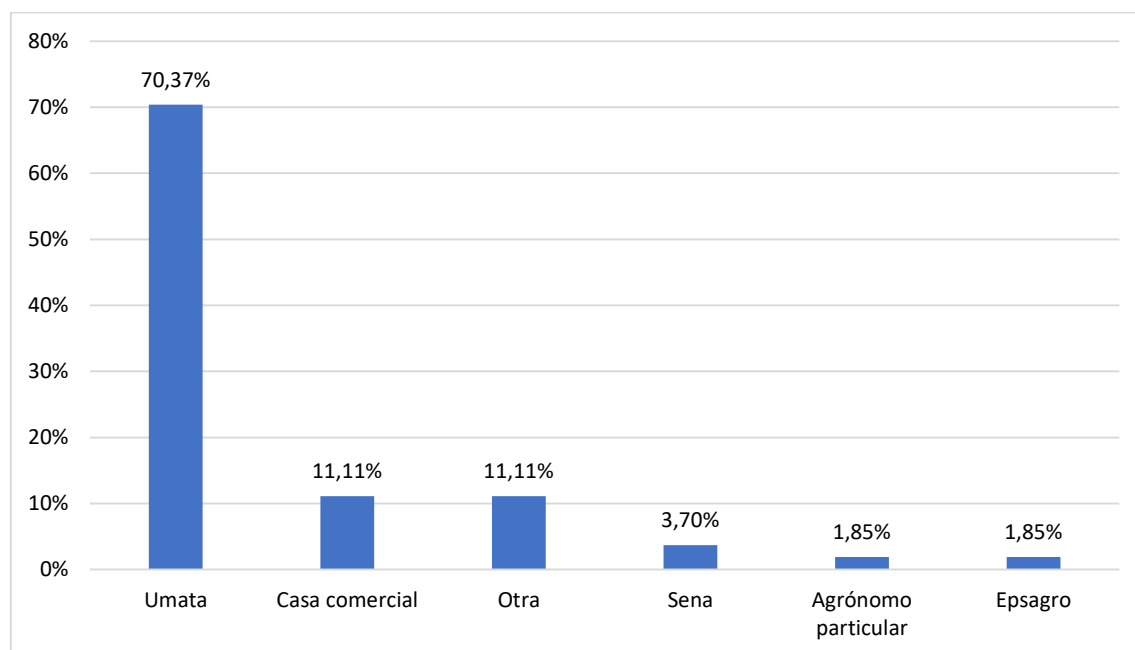


Figura 82. Entidad que brinda asistencia técnica.

Fuente: Elaboración propia

Capítulo VI

Cosecha, poscosecha, comercialización y autoconsumo

Cosecha

El frijol se cosecha varios días después del alcance del punto de madurez fisiológica pues, aunque la semilla está completamente madura y formada, el contenido de humedad es muy elevado (25-40 %), lo cual no es recomendable para los procesos de trilla, beneficio y almacenamiento (figura 83a). Por tanto, en campo debe bajar el contenido de humedad al menos al 14 % para trilla y beneficio; y para almacenamiento debe estar al 12 %, para evitar pudriciones y pérdida de germinación (Ríos et al., 2003). La medición de la humedad se realiza en laboratorio con determinadores de humedad, por ejemplo, el determinador halógeno de humedad que requiere una muestra de frijol que se destruye y arroja el valor de la humedad. Para las condiciones de campo existen métodos cualitativos como el rayado de la uña, que solo se produce cuando el frijol está seco, la 'prueba del diente' que consiste en la ruptura inmediata de un frijol bien seco. A nivel empírico también existe una metodología cuantitativa que consiste en tomar 100 g de frijol y llevarlo a una paila de aceite hirviendo, se toma el peso del frijol con una gramera antes de llevarlo al aceite y después de cinco minutos antes de que se queme se saca, se deja escurrir y se pesa nuevamente, la diferencia del peso multiplicado por 100 corresponde al contenido de humedad del grano de frijol (Ríos et al., 2003) (figura 83b).



Foto: Yanine Roza Leguizamón
y Rafael de Oro

Figura 83. Cosecha de frijol. a. Cosecha de frijol en el departamento del Cesar; b. Proceso de secado de vainas al sol, en patio.

Poscosecha

En áreas pequeñas, como las del Caribe seco, se realiza la poscosecha manual. A pesar de que en la zona se cuenta con desgranadoras de maíz, móviles que tienen la opción de desgranar frijol, en los talleres de productores realizados en la subregión, no se referenció el uso de alquiler de desgranadoras (figura 84). Por tanto, el enfoque de este tema se aplicará a la poscosecha manual. En la poscosecha se identifican diferentes actividades como secado, donde el más utilizado es el de exposición solar de las vainas completas para proteger al grano del sobresecado; en este proceso es usual el uso de estructuras de secado del café. Por lo general, cuando las vainas empiezan a mostrar dehiscencia es un indicador del alcance ideal de secado para pasar al desgrane; el desgrane puede realizarse mientras las vainas están contenidas en un saco y con una herramienta de madera, recubierta con un trozo de llanta, goma o cualquier otro material de hule grueso. Una vez se realiza este proceso de separar el grano de la carpeta, las fracciones de vainas se extraen para aprovechar la ventilación natural al arrojar el frijol, el cual cae en una caneca ya limpio. Otra opción es el uso de zarandas, pero este requiere un poco más de mano de obra. La selección se entiende como el proceso de separación de granos pequeños, partidos, decolorados, arrugados, con daño por insectos y hongos.



Foto: Yanine Rozo Leguizamón

Figura 84. Desgranadora de frijol en la parcela.

Finalmente se realiza el almacenamiento de granos seleccionados y sanos para el autoconsumo de la familia y a la espera de mejores precios de venta, o para semilla de la próxima siembra. El almacenamiento debe proteger al grano del ataque de plagas como gorgojo y la aparición de enfermedades fungosas. En el caso del frijol para consumo, se recomienda aplicar aceite de cocina a razón de 5 ml de aceite por kg de frijol. Este procedimiento no afecta las propiedades organolépticas del frijol. Adicionalmente, cuando el grano se va a utilizar como semilla, se recomienda utilizar ceniza, arena, o cal para evitar el daño por gorgojo (Román & Arias, 1995). Algunos productores de la zona refieren el uso de pequeñas bolsas con ajo machacado que ubican en la base, otro en la zona media y tres en la zona superior de cada costal, además de la ceniza, para el control del gorgojo. Por otro lado, puede utilizarse la mezcla de carboxim + thiram y clorpirifós para el cubrimiento de la semilla, pero no es recomendable para almacenamiento superior a tres meses, pues puede perderse viabilidad de la semilla, ya que esta necesita mantener la permeabilidad para conservar las funciones metabólicas de los complejos enzimáticos de sus tejidos y aquellos asociados con la germinación.

El adecuado manejo en poscosecha (como secado, limpieza y empaque) garantiza la calidad de la semilla para la comercialización. Las variables de mayor incidencia sobre la calidad final del grano son la cosecha en el momento oportuno, la humedad de la semilla y el control de plagas y enfermedades en poscosecha.

Limpieza

Este proceso conduce a la calidad física de la semilla, pues en este paso se eliminan las impurezas como piedras, vestigios de vainas, fracciones de la planta, granos partidos, deformados, con evidencia de ataque de plagas o enfermedades, y simplifica el proceso de secado de la semilla.

Secado

El secado del grano depende del uso final al cual esté destinado. En el caso del grano para consumo debe alcanzarse un rango 15-18 %, y así evitar daños durante la manipulación propia de las actividades de comercialización. En el caso del grano para semilla, se requiere alcanzar un menor grado de humedad, para evitar el deterioro ocasionado por el almacenamiento, para ello resulta ideal un porcentaje inferior al 14 %. En todos los casos, un elemento relevante reside en secar las semillas sin desgranar y realizar el desgrane cuando la semilla ha bajado su humedad desde el 20 %, que es la humedad regular de cosecha a 15 %.

Trilla o desgrane

Al igual que en el secado, la sofisticación de este proceso depende del destino final del grano y del volumen de semilla a procesar. En este sentido, el sistema más eficiente, y que genera menor daño a la semilla, es la trilla mecánica. Sin embargo, este sistema pierde su eficiencia cuando se procesan bajos volúmenes de semilla; por lo general se recomienda su uso para procesar vainas de más de dos hectáreas de siembra, debido a los costos generados por el uso de la maquinaria. El apaleo es la alternativa más usada para separar la vaina de las semillas, pero, aunque se procese con la humedad ideal, es inevitable el daño ocasionado a los granos. En este sentido, es recomendable apalear las vainas contenidas en sacos, para minimizar los daños mecánicos. En el caso de la producción de semilla a bajos volúmenes se recomienda el desgrane manual, consumidor de mano de obra, pero maximizador de la calidad de la semilla (Ríos & Quirós, 2002).

Clasificación

La clasificación de la semilla de frijol se aplica en escenarios de comercialización, en mercados de cadena o exportación y en la producción de grano para semilla. Los mercados locales no requieren este proceso para la comercialización. La clasificación tiene como objetivo dar cumplimiento a la norma NTC 871 que

califica al frijol en términos de calidad (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [Icontec], 2005). En este caso, las clases comerciales establecidas como radical, nima calima, froilán, etc. poseen descriptores ligados al tipo de grano como forma, color, peso de 100 semillas; en la medida en que el lote presente menores variaciones respecto a la ficha comercial, mayor será su calidad. En el caso de la producción de semilla, la clasificación exige la eliminación de cualquier tipo de variante respecto a la ficha técnica o registro del cultivar y así, se controla la segregación de caracteres o la producción de plantas de bajo vigor.

Transporte de la cosecha en el Caribe seco

Los productores de frijol del Caribe seco, en muchas ocasiones, deben utilizar varios medios de transporte para sacar el frijol al punto de venta. Así las cosas, uno de los medios más utilizados con 42,35 % es el animal, seguido de 20 % a hombro, 20 % en carro, 7,65 % en carreta y 7,06 % en motocarro (figura 85). En cuanto al lugar en el que venden el frijol, el 59,38 % afirma que lo hace al intermediario, en la mayoría de los casos el intermediario llega a la finca a comprarlo; debido al costo que tiene acarrear el frijol a las plazas de mercado por el mal estado de las vías, que puede oscilar por carga entre 10.000 y 40.000 pesos según la zona, es mejor para ellos vender al intermediario (figura 86).

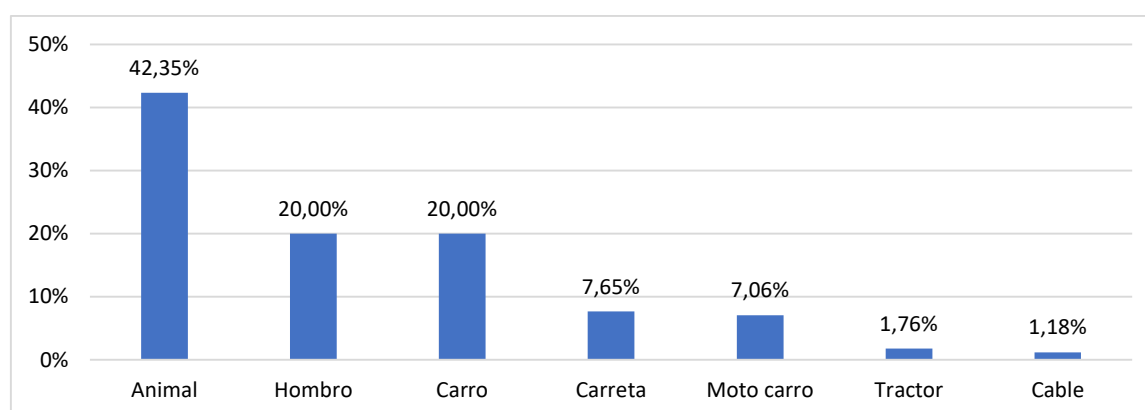


Figura 85. Transporte utilizado para sacar frijol al mercado.

Fuente: Elaboración propia

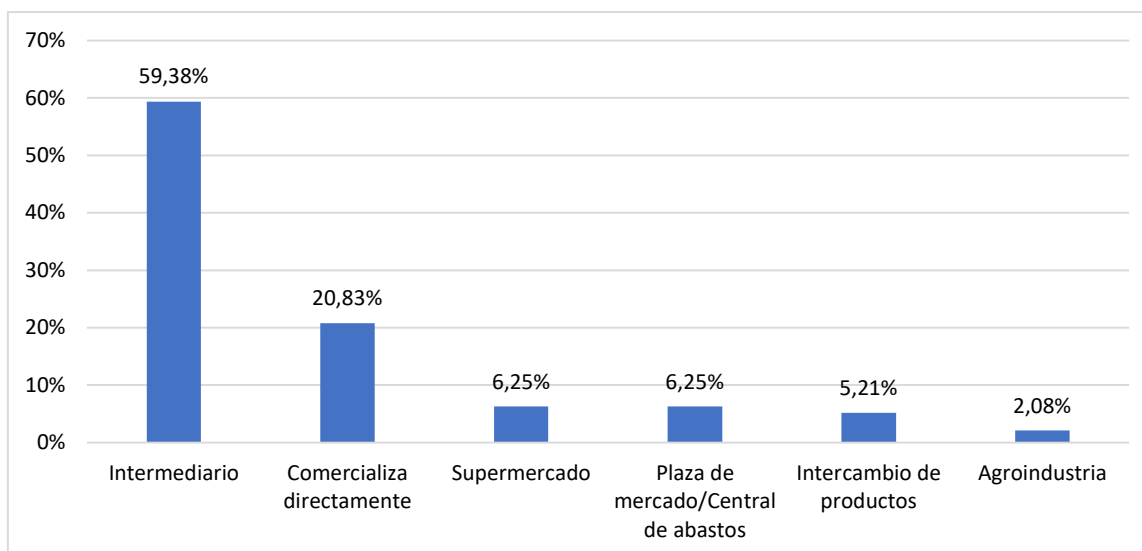


Figura 86. Lugar de venta.

Fuente: Elaboración propia

El 70,65 % de los productores deja menos del 10 % de la cosecha para el autoconsumo; el 14,13 % entre el 11,13 % y 9,78 %, con más del 75 % para autoabastecimiento (figura 87).

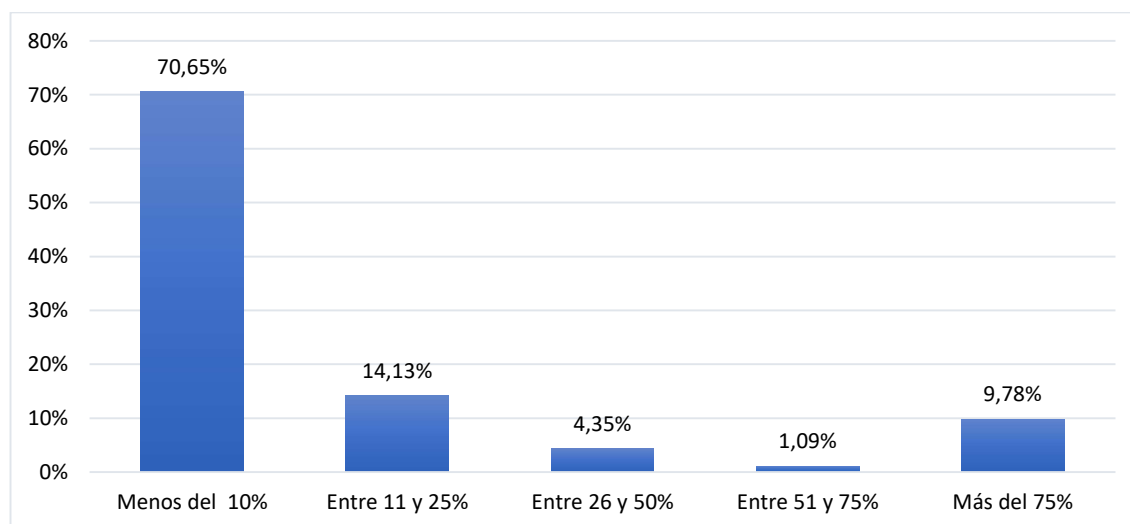


Figura 87. Porcentaje de cosecha para autoconsumo.

Fuente: Elaboración propia

Capítulo VII

Agroindustria

Transformación y valor agregado

Es de gran importancia para el país entender que además de buscar alternativas para incrementar la producción nacional, debemos velar por la calidad del frijol producido. La literatura da testimonio de un gran número de estudios genéticos sobre diferentes parámetros nutricionales, como calidad y cantidad de proteína, antinutricionales, etc. El número pequeño de programas trabajando activamente en la mejora de la calidad debe ser causa de reflexión y cuestionamiento sobre el por qué unos trabajan en calidad y otros no. La respuesta es sencilla y es que nadie exige que trabajemos en esto. Es decir, no hay demanda para la calidad o si la hay, no llega a nosotros como exigencia (Blair et al., 2009).

En Colombia prevalece la necesidad de producir alimentos de alta durabilidad y simplicidad de preparación, para facilitar la suplementación nutricional en la población infantil en edad escolar (7-11 años), dado los reportes nacionales de deficiencia de hierro en niños de dos a ocho años del 58,2 %. En consecuencia, AGROSAVIA avanzó con un estudio que tuvo como objetivo el desarrollo de un protocolo de elaboración de harina mixta de frijol -yuca-trigo para producción de galletas de alta calidad nutricional y sensorial. La metodología incluyó dos tipos de harina de frijol en igual proporción, obtenidas bajo diferentes técnicas, que luego fueron mezcladas con yuca y trigo; se midió el contenido de nutrientes y su viscosidad en relación con harinas de trigo y yuca convencionales, posteriormente se procedió a la producción de galletas seleccionadas de acuerdo con análisis microbiológico y pruebas de aceptación sensorial. Se obtuvo un método de obtención de harina de frijol mediante lavado, precocción (1h/40oC) en proporción 1:4 de agua, con posterior macerado y secado en horno por 4h/100oC, dada la conservación de diversos nutrientes. La mezcla de harinas con mejores propiedades reológicas y reducción de fenoles totales hasta un 50 %, consiste en 15 % frijol, 15 % yuca y 70 % de trigo, para la elaboración de galletas que presentaron mayor aceptabilidad por su aroma y sabor. Se recomienda el desarrollo de estudios complementarios para evaluar el efecto del consumo de las galletas en los niños (Caballero et al., 2014).

La harina de frijol también se ha utilizado en la industria cárnica, en la búsqueda de extensores que reemplacen la proteína cárnica, con el fin de reducir los costos de producción. La harina de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) se agregó en proporciones de 3 %, 6 % y 9 %, para la elaboración de salchicha tipo Frankfurt. Se encontró que, al aumentar la concentración de la harina de frijol, el producto presenta disminución de la coloración rojiza, aumento de la fuerza de corte, dureza y pérdida de adhesividad y elasticidad. El análisis sensorial reveló una mayor aceptación del consumidor por el control (sin uso de extensor) y, en segundo lugar, por el tratamiento al 3 % (Albarracín, Acosta, & Sánchez, 2010).

Otro uso potencial del frijol se ha identificado en la industria farmacéutica, debido a la alta proporción de antocianinas en su testa. Mediante técnica de extracción asistida por microondas (MAE), se obtuvo un contenido de antocianinas entre 8,33 y 25,5 mg cianidin-3-glucósido/L. Sin embargo, el efecto de protección antioxidante exhibió capacidad protectora promisorio contra radicales libres (Puertas-Mejía, Ríos-Yepes, & Rojano, 2013). En otros estudios, también se ha identificado que las fracciones peptídicas provenientes de la semilla de frijol presentan efecto antihipertensivo (Betancur Ancona, 2008; Torruco, Dávila, Chel, & Betancur, 2008). Adicionalmente, se han realizado evaluaciones sobre la calidad del hidrolizado proteico de frijol sobre la inhibición de *S. aureus* y la velocidad de digestión en el organismo, evidenciándose la actividad antimicrobiana, que podría aplicarse en la industria alimentaria (Baltodano, 2016).

El análisis de la cadena de valor del frijol rojo se ha abordado en diferentes países de Latinoamérica y Caribe, fundamentalmente por entidades de injerencia mundial como la FAO, USAID, entre otras, debido a la importancia de este cultivo en la canasta básica, y la seguridad alimentaria en el esquema de agricultura familiar (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2013). La producción de frijol en Latinoamérica está concentrada en cultivos de pequeñas áreas, en zonas marginales con baja tecnificación, por lo cual el fortalecimiento de la cadena de suministro de frijol aporta al mejoramiento de las condiciones de vida de los productores más pobres. En los estudios de cadena de valor deben incluirse integralmente visiones estratégicas de la asistencia técnica y actividades de mayor contundencia en la promoción del crecimiento y desarrollo continuado de la cadena de suministro del frijol, fundamentada en el mercado (Alemán, Martínez, & Jarquín, 2012).

Al igual a lo referido en Centroamérica, en el Caribe seco la carencia de suministros de semilla mejorada limita el ingreso de la producción local a los almacenes de cadena, y los circunscribe al comercio del menudeo en plazas de mercado locales. Esto debido, principalmente, a la alta heterogeneidad en tipología y calidad de grano que riñe con las exigencias de los estándares de calidad. De tal modo que las empresas empacadoras del frijol, disponible en los almacenes de cadena del Caribe seco, comercializan tanto granos nacionales como importados, presentando frijol es provenientes de Estados Unidos como caupí, caraota, pinto y tipo zaragoza. Dichas empresas están ubicadas en Bogotá, como es el caso de las comercializadoras San Pedro, Bongrain y Algrano, y en Itagüí, Granos y Cereales La frijolera. En la subregión solo se registran empacadoras de arroz, mas no de frijol, como la distribuidora Perla de Badillo y la Arrocería y molina La provincia, en Fonseca Guajira.

El frijol, a diferencia de los lácteos o el maíz, no es un producto que sufra importantes transformaciones en el procesamiento, dado que el mercado consumidor lo demanda principalmente como grano seco. El valor que se le agrega en el procesamiento es generado en el beneficio y empaque que requiere una infraestructura costosa. Los pocos procesos de transformación que sufre el frijol, que conducen a la agregación de valor, hacen que los sectores empresariales creen barreras a los sectores productivos para acceder a estos eslabones, pues la diferencia entre el valor pagado al productor por el intermediario, y el precio de venta a almacenes de cadena, corresponde a las actividades de limpieza, selección y empaque. Respecto a la transformación, se evidencia solo frijol es enlatados por empresas colombianas como Respin en Bogotá, Zenú y Taconacho en Medellín. También se comercializan frijol es enlatados de México como La Costeña y McCormick.

Respecto a las opciones de transformación del frijol que presenta Costa Rica, por ejemplo, Colombia y el Caribe seco están en desventaja pues no se comercializa harina de frijol, frijol es molidos, frijol es precocidos, y no hay marcas con sello verde o de trazabilidad, el cual garantiza que el grano se produjo por pequeños productores. En este sentido, el tiempo de cocción de la semilla del frijol seco es en promedio de 90 minutos (Tofiño et al., 2016a), lo que limita su consumo a hogares de zona urbana en los que ambos padres

trabajan, cuyo porcentaje asciende en Bogotá al 60 %. Esto es especialmente significativo respecto a los hábitos alimenticios en la Costa Caribe, dado que se ha registrado que no hay cambios significativos en el rol del padre en hogares de madres trabajadoras, por lo cual la mujer debe preparar los alimentos antes o después del trabajo (Amarís, Camacho, & Fernández, 2000).

La migración a la zona urbana es un proceso creciente en el país, pues en los últimos 20 años la población en las cabeceras municipales se ha incrementado en un 37,2 %, y la proporción en relación con el total municipal pasó del 71,3 % al 76,7 %; en este aspecto, la segunda tasa de crecimiento la presentó La Guajira (108,2 %) (Instituto de Estudios Urbanos [IEU], 2017). Por tanto, la oferta de presentaciones de preparación rápida de frijol, además de los enlatados, podría constituir una oportunidad para estimular el consumo del grano en la zona urbana que actualmente está alrededor de 3,6 kilogramos/persona/año. Esta cifra sería insuficiente para aprovechar los beneficios nutricionales del frijol, ya que el consumo recomendado sería 12 kg/persona/año. El consumo en Colombia es bajo respecto a Centroamérica, donde se registra un consumo aparente de 23 kg/persona/año en Nicaragua, 15 kg/persona/año en El Salvador, y 9 kg/persona/año en Honduras y Costa Rica (Salcedo & Guzmán, 2014).

Adicionalmente, los niveles de anemia (29 %), deficiencia de Zn (42 %) y el alto porcentaje de desnutrición crónica: 15 % de los niños del Caribe seco y La Guajira (20 %), están por encima del promedio nacional (BID & Gobernación del Atlántico, 2011). Por tanto, se exige la oferta de productos de alta aceptación por este grupo, con alto contenido nutricional, donde las galletas de harina de frijol constituirían una opción viable. En este sentido, la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentaria de México (INIFAP), promueve la elaboración de galletas con harina de frijol de alta calidad nutricional y nutracéutica (Cruz-Bravo et al., 2015). En estudios realizados en el Caribe seco, con frijol es biofortificados, se registró que las galletas de frijol conservan alta biodisponibilidad de hierro y zinc (Caballero et al., 2014).

Capítulo VIII

Costos de producción

En las zonas productoras de frijol en el Caribe seco se han encontrado dos formas de producción, la agricultura empresarial y la familiar. Con miras hacia este análisis financiero, se realizaron talleres para evaluar sus estructuras de costo, a través del análisis de costeo total y un análisis y un análisis de costos en el que se determinaron los costos no monetarios (implícitos) (tabla 12).

Tabla 12. Costos de producción de una hectárea de frijol en el Caribe seco

Resumen de Costos/ha de frijol zaragoza				
Concepto	Empresarial	Familiar		
		Valor total	Cm	Cnm
Labores	1.874.500	1.874.500	821.000,00	1.079.750
Insumos	499.000	539.000	539.000,00	0
Herramientas	27.083	54.472	54.472,22	0
Transporte	65.000	65.000	65.000	0
Costo Financiero	166.763	NA		
Costo tierra	100.000	NA		
Total	2.732.346	2.532.972	1.479.472	1.079.750
Rendimiento (toneladas)	0,80	0,80		

Fuente: Elaboración propia

Para la definición de la estructura de costos, se parte de la limpieza de un lote nuevo, la adquisición de herramientas básicas depreciadas por ciclo de productivo y años de vida del producto, y la mano de obra a todo costo en el caso de agricultura empresarial (acceso a crédito agropecuario, mano de obra contratada, sin excedentes para autoconsumo), y con la determinación del porcentaje de participación de la familia para el caso de la agricultura familiar. Se calcula la cantidad de semilla requerida de acuerdo con los sistemas de siembra tradicionales para el Caribe seco; además, se tiene en cuenta que el precio del jornal se da a todo costo (que es el más utilizado en la región). El precio de

venta asumido para el costeo es el precio observado a puerta de finca ya que es el principal sistema de venta, la intermediación.

La baja producción en el Caribe seco, aproximadamente 800 kilos por ha, hacen que la producción con un enfoque de agricultura empresarial presente un menor beneficio o sea inviable, frente a la agricultura familiar en la que no se asume costo de la tierra ni costos financieros ya que la mayoría de ellos no tiene acceso a crédito agropecuario y hay un aporte significativo de la mano de obra familiar superior al 60% y con un porcentaje de cosecha para el autoconsumo inferior al 25%.

Capítulo IX

Consideraciones finales y recomendaciones

La producción de frijol en la subregión Caribe seco se realiza principalmente en zonas de ladera a lo largo de los sistemas montañosos como la Serranía del Perijá, la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía de San Jerónimo, principalmente en zonas de aptitud intermedia. Se destaca que las zonas con mayor aptitud para el cultivo de frijol están ubicadas en los municipios de Valledupar (Cesar) y Aracataca (Magdalena). Se cultiva principalmente de tipo arbustivo de grano rosado, rojo y variedades locales negras; estos últimos se utilizan principalmente para autoconsumo. Se cultiva en la franja altitudinal 650-1500 m s. n. m., diversificando el ingreso en fincas con cultivos permanentes como cacao y café. También se identifica un menor porcentaje de productores con vocación hortícola en el norte del Cesar, el sur del Magdalena, y el sur de La Guajira, quienes integran el frijol a un sistema de rotación con ají, cilantro, cebolla y tomate.

El frijol en la subregión se caracteriza por cultivarse en unidades pequeñas que van desde 0,25-5 hectáreas en promedio. El tipo de producción es de baja tecnología, donde predomina la siembra en monocultivo, dependiente del periodo de lluvias y con riego suplementario incipiente; el principal origen de la semilla es de la cosecha del ciclo anterior; y la aplicación de fertilizantes se da sin análisis de suelos, aunque hay predominio del control químico de arvenses, plagas y enfermedades. El control sanitario es predominantemente curativo, con una baja referencia de uso de productos biológicos. En este sentido, los biológicos se relacionan especialmente con bioabonos, principalmente gallinaza y bovinaza. Las actividades de mayor consumo de químicos en frijol son el control de arvenses y de artrópodos. También se evidenció la baja cobertura de asistencia técnica y la necesidad de capacitaciones técnicas.

La tipología de productor corresponde a una economía de pequeña escala, con predominio de tenencia propia de la tierra que involucra además a todos los miembros de la familia, y con una referencia general de bajo acceso a crédito de la banca formal. La comercialización del frijol producido en la zona se realiza

a través de intermediarios que compran la cosecha en la finca, pues el costo de transporte por carga desde las zonas de producción es elevado. La rentabilidad del cultivo de frijol se alcanza con la siembra de al menos dos hectáreas, debido al bajo rendimiento por unidad de área. El costo de producción por kg es de \$3.400 a todo costo, y el precio de venta oscila a través del año entre \$3.500 y \$4.500 por kg. La racionalidad del cultivo de frijol en la subregión está asociada a su contribución al autoconsumo (30 %), la disponibilidad de mano de obra familiar y la utilización de la cosecha para la alimentación de los jornaleros del café y el cacao.

En términos generales, al realizar un análisis integral de las condiciones en la subregión de la cadena de suministro de frijol, podría afirmarse que debe priorizarse el esquema de agricultura intensiva sostenible, atendiendo a la contribución de este producto a la agricultura familiar, la economía campesina y la seguridad alimentaria del productor y de la región en sí. La transformación productiva de frijol implica avanzar con la zonificación del cultivo, partiendo de indicar cuales zonas estarían destinadas a la economía campesina y las zonas de mayor aptitud para la producción comercial; en este documento se presenta una aproximación. En las zonas de mayor aptitud se requiere el concurso de los actores regionales para fomentar las cadenas de suministro y la transformación asociativa con disminución de la intermediación. En estas zonas se podrían constituir anillos agroalimentarios que vinculen zonas de alta aptitud para el cultivo de frijol, que presenten vías de acceso en buenas condiciones y suministro eléctrico para que pueda avanzarse con la agroindustrialización cercana a las zonas de producción y así disminuir la huella de carbono de los productos. Esta estrategia se consolida en la medida en que se privilegie el consumo de los granos producidos en la región. En buena medida, el mejoramiento de la calidad y la presentación del producto facilitará la inserción en los mercados regionales y de cadena. La otra problemática ligada al desabastecimiento del grano durante ciertas épocas del año puede superarse con la habilitación de minidistritos de riego, los cuales están actualmente inoperantes en la zona de vocación productiva del frijol.

El suministro continuado del producto requiere la siembra escalonada del frijol, en este sentido podría aprovecharse que los sistemas montañosos predominantes

tienen ciclos contrastantes de precipitación y duración de las lluvias; por tanto, la cadena de suministro en Caribe seco debería integrar a asociaciones de productores ubicados en ambas zonas que sincronizarían sus épocas de siembra y que dispondrían de sistemas de riego. Las asociaciones vinculadas se enfocarán en la productividad por área respecto al manejo de áreas mayores. Esto facilitará la maximización del uso de la mano de obra familiar y un control cultural más intensivo en el cultivo. La sostenibilidad del cultivo debe enfocarse en el mantenimiento de la calidad del suelo, el uso eficiente del agua y la maximización de la biodiversidad por área como factor de la promoción de la sanidad del cultivo. En este orden de ideas, debe romperse el esquema del uso de la “semilla de costal” y promover el uso de variedades mejoradas y semillas de calidad. Así mismo, en los circuitos agroalimentarios, el frijol deberá establecerse en suelos con vocación agrícola, es decir en zonas con pendientes moderadas donde la actividad agrícola no promueva la degradación del suelo.

La agroindustria del frijol no debe enfocarse exclusivamente en el beneficio y empaque del grano, debe incluir, además, la producción de harinas y el desarrollo de nuevos subproductos, de acuerdo con las demandas de la industria alimenticia regional humana y animal. También hay que recurrir al uso de bioproductos con calidad, dado que los abonos orgánicos disponibles en la región deben cumplir con las normativas del ICA, así como contar con el apoyo de laboratorios de microbiología para garantizar la calidad sanitaria de cada uno de los lotes producidos e instalar biofábricas regionales de cepas autóctonas con potencial biotecnológico de *Trichoderma*, *Beauveria* y *Metarhizium* que puedan acoplarse al sistema productivo del frijol.

Es de resaltar que la subregión cuenta con la capacidad instalada para este tipo de emprendimientos pues el SENA cuenta con el Centro Biotecnológico del Caribe (CBC), donde está la Unidad de panificación a escala industrial para el desarrollo de nuevos productos agroalimentarios basados en harina, así como el programa Tecnoparques que ofrece iniciativas para la producción de nuevos productos para la industria avícola; además, se encuentra un programa de ingeniería agroindustrial en la Universidad Popular del Cesar; un programa de ingeniería industrial, en la Universidad de Santander, y programas de ingeniería ambiental en Universidad Popular del Cesar (UPC) y en la universidad de La Guajira. En

Magdalena, la Universidad del Magdalena ofrece el programa de agronomía y el SENA regional de ese departamento tiene vocación agroindustrial. Así las cosas, se podría proponer una opción de titulación con una práctica rural de un año en asistencia técnica, generar capital humano de alto nivel que, de manera integrada con el SENA, dinamiza el subsistema de asistencia técnica (ATA) con beneficio a los cuatro departamentos que componen la subregión.

Adicionalmente, las biofábricas podrían desarrollarse como una estrategia de *spin off* del programa de microbiología de la UPC, en asocio con el SENA y la estación del Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé) en Pueblo Bello. Aunado a esto, es importante precisar que existe una iniciativa de mercabastos en Valledupar, donde se puede replicar la ecorregión, para promover la inserción en el mercado de grandes volúmenes del frijol producido a nivel local, y se registra una empresa empacadora de frijol en la subregión ubicada en Barranquilla. Igualmente, el frijol está priorizado en los planes de desarrollo de los municipios con vocación productora del cultivo, por lo cual recursos locales pueden destinarse al mejoramiento de la capacidad instalada como los minidistritos de riego, centros de acopio, beneficio y empaque. De esta forma se lograría fortalecer la operatividad de las asociaciones que existen actualmente.

La Cámara de Comercio de Valledupar ha participado en proyectos de generación de valor agregado, especialmente en el sector lácteo, por tanto, podría aportar experiencias exitosas desde otros sectores en la agregación de valor a la cadena de suministro de frijol. Estos actores locales, sensibilizados sobre la necesidad de estrategias agroalimentarias integradas a procesos de desarrollo local, solo requieren articularse a través de la cadena del suministro de frijol común *Phaseolus vulgaris* L.

Finalmente, en la zona existen industrias de panificación como ServiPan, que manifiestan la necesidad de avanzar con nuevas ofertas de productos alimenticios nutraceuticos, donde las harinas diluidas de trigo con inclusión de harinas de frijol y yuca biofortificados podrían constituir la materia prima de nuevas preparaciones para un mercado interesado en el cuidado de la salud. Las nuevas variedades de frijol biofortificado Corpoica rojo 39 y 43 podrían suplir la

demanda, tanto de los mercados nutraceuticos como las necesidades de los programas de seguridad alimentaria regional para la población vulnerable.

En el caso de aquellas localidades ubicadas en zonas de menor aptitud para el cultivo de frijol, y en suelos con vocación productiva limitada para la agricultura, es necesario avanzar en escuelas donde se vinculen estrategias que disminuyan el riesgo de pérdida de la capacidad productiva del suelo, y mejoren las habilidades del productor frente a la toma de decisiones en cuanto al manejo del cultivo y de poscosecha.

Uno de los elementos más limitantes, en cuanto a la tecnología local de producción de frijol en la subregión, está en el desconocimiento de las características fisicoquímicas del suelo, lo cual es fundamental en la decisión del plan de fertilización, el manejo de arvenses, la decisión de riego y su intensidad. AGROSAVIA desarrolló una cartilla de indicadores *in situ* de calidad de suelo en frijol en Caribe seco, que podría utilizarse por los asistentes técnicos para disminuir el impacto del cultivo de frijol en la calidad del suelo y el ambiente. Adicionalmente, la propuesta de sistema multiestrato es apropiada para la agricultura familiar de frijol con generación de excedentes comerciales y aportes a la seguridad alimentaria.

En resumen, el reto de la producción del frijol en el Caribe seco está en el fomento de dinámicas de agregación de valor y asociatividad que garantice volumen y ruptura de los picos productivos, a través de la promoción de empresas empacadoras de grano en la región, producción con sello verde, obtención de derivados del frijol para la alimentación humana y animal, y la creación de corredores alimentarios donde se privilegie el comercio justo de la producción local.

Los autores

Yanine Rozo 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.

Adriana Patricia Tofiño Rivera

atofino@agrosavia.co

Ingeniera agrónoma, magíster en Recursos Fitogenéticos Neotropicales, PhD en Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia. Ha trabajado en investigación en fisiología vegetal, mejoramiento 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), Centro de Investigación Motilonia en Codazzi, Cesar.

Douglas Andrés Gómez Latorre

dagomez@agrosavia.co

Ingeniero catastral y geodesta de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, magíster en ciencias - meteorología de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Se ha desempeñado principalmente como investigador en el área de agroclimatología, modelamiento espacial y ciencias de la información geográfica, todas estas aplicadas a la agricultura

Luis Fernando Gómez Ramírez

lfgoomez@agrosavia.co

Biólogo, magíster en Microbiología de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Ha trabajado en el aislamiento, caracterización y evaluación de microorganismos con potencial en la promoción de crecimiento vegetal en diversos cultivos. Actualmente, se desempeña como investigador máster adscrito a la Red de Cultivos Transitorios de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), en el Centro de Investigación Motilonia, Codazzi, Cesar.

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. Trabajo 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. Actualmente lidera productos de investigación de frijol y adicionalmente realiza actividades de investigación en aguacate.

Referencias

- Acevedo, A., & Martínez, J. (2016). *La agricultura familiar en Colombia. Estudios de caso desde la multifuncionalidad y su aporte a la paz*. Bogotá, Colombia: Fondo Ediciones Universidad Cooperativa de Colombia.
- Acosta-Gallegos J. A., Sanchez-Garcia, B., Jimenez-Hernandez, Y., Salinas-Perez, R., Rosales-Serna, R., Zandate-Hernandez, R. & Gonzalez-Rivas, C. (2012). Adaptability of the flor de junio dry bean type to different environments in México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 15(2), 427-438.
- Agrogen. (s.f.). *Diagramas de Troug, influencia del PH sobre la disponibilidad de nutrientes*. Recuperado de <http://www.agrogen.com.mx/troug.asp>.
- Albarracín, W., Acosta, L., & Sánchez, I. (2010). Elaboración de un producto cárnico escaldado utilizando como extensor harina de frijol común (*Phaseolus spp.*). *Vitae*, 17(3), 264-271.
- Alemán, M., Martínez, S., & Jarquín, K. (2012). *Análisis de la cadena de valor de frijol rojo y negro en Nicaragua con enfoque de seguridad alimentaria y nutricional*. Recuperado de https://coin.fao.org/coin-static/cms/media/14/13540579183450/libro_frijol_30-07-2012-2.pdf
- Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Refugiados (ACNUR). (2011). *Comunidades indígenas. Arhuaco*. Recuperado de http://www.acnur.org/t3/fileadmin/Documentos/Pueblos_indigenas/2011/Comunidades_indigenas_en_Colombia_-_ACNUR_2011.pdf?view=1.ONU.
- Amarís, M., Camacho, R., & Fernández, I. (2000). El rol del padre en las familias con madres que trabajan fuera del hogar. *Psicología desde el Caribe*, (5), 157-175.
- Arango, R. (2004). *Los pueblos indígenas en Colombia el umbral del nuevo milenio: población, cultura y territorio: bases para el fortalecimiento social y económico de los pueblos indígenas*. Bogotá, Colombia: Departamento Nacional de Planeación (DNP).
- Araujo, A., & Grandi, 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.
- Araya, R., & Hernández, J. (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, J., Renjifo, T., & Jaramillo, M. (2007). Buenas prácticas agrícolas (BPA) en la producción de frijol voluble. Medellín: Gobernación de Antioquia, Mejoramiento Alimentario y Nutricional de Antioquia (MANA), Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Arrieta, G., López, O., Romero, M., Avila, M., Jarma, A., & Castro, M. (1999). Variedad mejorada de frijol caupí de grano grande tipo cabecita negra para el Caribe seco colombiano. Recuperado de <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/4931/1/Corpoica%20provinciano%20Variedad%20mejorada%20de%20frijol%20caupi%20de%20grano%20grande%20tipo%20canecita%20negra.pdf>.
- Astudillo, C., & Blair, M. (2008). Contenido de hierro y cinc en la semilla y su respuesta al nivel de fertilización con fósforo en 40 variedades de frijol colombianas. *Agronomía Colombiana*, 26(3), 471-476.
- Balasubramanian, P., Vandenberg, A., & Hucl, P. (2004). Seedling emergence of common bean accessions under suboptimal temperature. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 129(4), 503-508.
- Ballesteros, W., & Musalem, M. (2003). La agroforestería como alternativa para el desarrollo sostenible en rosamorada, Nayarit, México. *Revista Ciencias Agrícolas*, 20(1 y 2), 62-78.
- Baltodano, S. L. (2016). *Efecto de la concentración de alcalasa y tiempo de digestión sobre el grado de hidrólisis y acción inhibitoria frente a Staphylococcus aureus en el hidrolizado proteico de frijol ñuña (Phaseolus vulgaris L.) variedad pava* (tesis de pregrado). Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú.
- Barriga Ramírez, A. (s.f.). En el mercado de Valledupar, se disparan precios del queso, plátano y habichuela. *El Pilón*. Recuperado de <http://elpilon.com.co/mercado-valledupar-se-disparan-precios-del-queso-platano-habichuela/>.
- Barrios, C., & Alvarez, P. (2016). *Caracterización agroambiental de sistemas de producción de maíz y frijol en Colombia* [Documento de trabajo CCAFS N.º 184]. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Camilo_Barrios-Perez/publication/310461850_Caracterizacion_ambiental_de_sistemas_de_produccion_de_maiz_y_frijol_en_Colombia/links/582e7a4808ae004f74bce6bb/Caracterizacion-ambiental-de-sistemas-de-produccion-de-maiz-y-f.

- Barrios-Gómez, E., López-Castañada, C., & Kohashi-Shibata, J. (2011). Relaciones hídricas y temperaturas altas en frijol del tipo "flor de mayo". *Agronomía Costarricense*, 35(1), 131-145.
- Beebe, S., Rengifo, D., Gaitán, E., Duque, M., & Tohme, J. (2001). Diversity and origin of Andean landraces of common bean. *Crop Science*, 41(3), 854-862.
- Beebe, S., Skroch, P., Tohme, J., Duque, M., Pedraza, F., & Nienhuis, J. (2000). Structure of genetic diversity between common bean land races of Middle America origin based on correspondence analysis of RAPD. *Crop Science*, 40(1), 264-273.
- Bello-Bravo, J. O., Olana, G. W., & Pittendrigh, B. R. (2015). A pilot study using educational animations as a way to improve farmers' agricultural practices and health around Adama, Ethiopia. *Information Technologies & International Development*, 11(3), 23-37.
- Banco Interamericano de Desarrollo (BID) & Gobernación del Atlántico. (2011). *Caribe sin hambre*. Recuperado de http://www.atlantico.gov.co/images/stories/rendicion/caribe_sin_hambre_version_final.pdf.
- Betancur Ancona, D. 2008. *Efecto antihipertensivo de fracciones peptídicas bioactivas obtenidas a partir de frijol lima (Phaseolus lunatus) y frijol jamapa (Phaseolus vulgaris L.)*. Documento presentado en XVI Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería. Recuperado de <https://smbb.mx/congresos%20smbb/queretaro11/TRABAJOS/simposios/SimposioIIIBetancur.pdf>.
- Bedoya-Reina, O. C., & Barrero, L. E. (2009). Filogenia del lulo, el tomate de árbol y sus parientes silvestres. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 10(2), 180-190.
- Beyra, A., & Reyes Artilles, G. (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. W., Astudillo, C., Grusak, M. A., Graham, R., & Beebe, S. E. (2009). Inheritance of seed iron and zinc concentrations in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Molecular Breeding*, 23, 197-207. Recuperado de <https://naldc.nal.usda.gov/download/23204/PDF>.
- Blair, M. W., Galeano, C. H., Tovar, E., Muñoz, M. C., Velasco, A., Beebe, S., & Rao, I. M. (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.

- Blanco, P., López Saldaña, G., Colditz, R., Hardtke, L., Mari, N., Fischer, A., ... de Jesús, S. (2012). Propuesta metodológica para la cartografía periódica de la cobertura del suelo en Latinoamérica y el Caribe: estado de situación y avances. *Revista de Teledetección*, 38, 65-70.
- Bohm, G., Genovese, M., Pigosso, G., Trichez, D., & Rombaldi, C. (2008). Residuos de glifosato e ácido amonometilfosfonico e teores de isoflavonas em soja BRS 244 RR and BRS 154. *Ciencia Tecnología Alimentos, Campinas*, 28(Supl.): 192-197.
- Bolsa de Comercio de Rosario Córdoba. (s.f.). *Etapas de la toma de muestra de análisis de suelo*. Recuperado de <https://www.bcr.com.ar/Laboratorio%20Varios/Instructivo%20toma%20de%20muestras%20de%20suelo.pdf>.
- Bozzo, A. (2010). Persistencia del glifosato y efecto de sucesivas aplicaciones en el cultivo de soja en agricultura continúa en siembra directa sobre parámetros biológicos del suelo (tesis de maestría). Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.
- Broughton, W. J., Hernández, G., Blair, M., Beebe, S., Gepts, P., & Vanderleyden, J. (2003). Beans (*Phaseolus* spp.): model food legumes. *Plant and Soil*, 252(1), 55-128.
- Cabal, D. C., Melo, A., Lissbrant, S., Gallego, S., Hechavarría, M. L., & Tofiño, A. (2014). Highly nutritional cookies based on a novel bean-cassava-wheat flour mix formulation. *Agronomía Colombiana*, 32(3), 407-416.
- Campitelli, P., Aoki, A., Gudelj, O., Rubenacke, A., & Sereno, R. (2010). Selección de indicadores de calidad de suelo para determinar los efectos del uso y prácticas agrícolas en un área piloto de la región central de Córdoba. *Ciencia del suelo*, 28(2), 223-231.
- Carrazón, J., Corleto, M. A., & Sibrián, R. (2013). *Centroamérica en Cifras. Datos de Seguridad Alimentaria Nutricional 2013*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-at771s.pdf>.
- Cámara de Comercio de Bogotá (CCB). (s.f.). *Manual frijol*. Recuperado de <http://bibliotecadigital.ccb.org.co/bitstream/handle/11520/14313/Frijol.pdf?sequence=1>

- Castellanos González, L., Lorenzo Nicao, M. E., Muiño, B. L., Hernández Pérez, R., & Guillen Sánchez, D. (2015). Efecto *in vitro* de plaguicidas comerciales sobre *Trichoderma harzianum* cepa A- 34. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 47(2), 185-196. Recuperado de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1853-86652015000200014&lng=es&tlng=es.
- Castillo Mendoza, M., Ramírez Vallejo, P., Castillo González, F., & Miranda Colín, S. (2006). Diversidad morfológica de poblaciones nativas de frijol común y frijol ayocote del oriente del estado de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 29(2), 111-119.
- Chaveco, O., Padrón, M., Permuy, N., Ruiz, V., Pachón, H., Beebe, S. E., & Selva, L. (2007). Biofortificación del frijol común con hierro y zinc: una alternativa en la estrategia de diversificación alimentaria en Cuba. Recuperado de https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/57849/poster_chaveco_congreso_cuba.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). (16 de 03 de 2018). *Lanzan nuevas variedades de frijol para mejorar la alimentación de los colombianos y responder al cambio climático* [Mensaje en un blog]. Recuperado de <http://blog.ciat.cgiar.org/es/lanzan-nuevas-variedades-de-frijol-para-mejorar-la-alimentacion-de-los-colombianos-y-responder-al-cambio-climatico/>.
- Córdoba, A. (2011). Estéticas enraizadas: aproximaciones al video indígena en América Latina. *Comunicación y Medios*, (24), 81-107.
- Córdoba Gaona, O., & Casas Moreno, H. (2003). *Principales arvenses asociadas al cultivo de frijol en la región Andina* [Boletín técnico N.º 20]. San Roque, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). (2011). *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* [Informe final del proyecto]. Agustín Codazzi, Colombia: autor.

- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). (2014). *Cinco genotipos de frijol común preseleccionados por su tolerancia a estrés abiótico: sequía-alta precipitación en ambientes contrastantes del Caribe. Tres genotipos de frijol rojo biofortificado preseleccionados por su tolerancia. Cesar* [Informe final proyecto]. Agustín Codazzi, Colombia: autor.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). (2015). *Línea de base modelos productivos Corpoica*. Mosquera, Colombia: autor.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). (2016a). *Caracterización de la variabilidad climática y zonificación de la susceptibilidad territorial a los eventos climáticos extremos (Departamento de La Guajira)*. Mosquera, Colombia: Fondo de Adaptación y Corpoica.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). (2016b). *Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sector Agropecuario Colombiano (2017-2027)*. Mosquera, Colombia: autor.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). (2016c). *Plan de vinculación de tecnologías para los sistemas hortícolas sostenibles del Caribe. Una vitrina tecnológica para agricultura familiar en hortalizas. Cesar*. [Informe final proyecto]. Agustín Codazzi, Colombia: autor.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). (2017). *Liberación de variedades de frijol* [Informe de meta]. Agustín Codazzi, Colombia: autor.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). (2018a). *Sistemas de producción de hortalizas identificados para la región Caribe con la tecnología local de producción, perteneciente al proyecto Análisis socioeconómico, tecnológico y de mercado de las principales hortalizas cultivadas* [Informe final de la meta]. Mosquera, Colombia: autor.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). (2018b). *Liberación de variedades de frijol biofortificado en el esquema productivo del Caribe Seco, perteneciente al proyecto Obtención de variedades comerciales y de mercado campesino de frijol tolerante a alta temperatura bajo sistemas productivos sostenibles en el Caribe colombiano* [Informe final de la meta]. Mosquera, Colombia: autor.

- Cruz-Bravo, R. K., Guzmán-Maldonado, S. H., Herrera, M. D., Cid-Ríos, J. A., & Juárez-García, M. (2015). *Galletas con harina de frijol de alta calidad nutricional y nutraceutica*. [Folleto técnico N.º 66]. Recuperado de http://www.inifap.gob.mx/Documents/transparencia/Estudios_Opiniones/2017/Publicaciones_2015/PUBLICACION%2026.pdf.
- Cuéllar, M. E., & Morales, F. J. (2006). La mosca blanca *Bemisia tabaci* (Gennadius) como plaga y vectora de virus en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Colombiana de Entomología*, 32(1), 1-9.
- 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: Programa de las Naciones Unidas (PNUD) y Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Del Castillo, 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.
- Del Cura, F., Quintero, J., & Rosas, E. (2015). *Aproximaciones a la medición de la resiliencia en comunidades rurales del Estado Mérida, Venezuela, ante escenarios de cambio climático*. Recuperado de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/58395>.
- Delgado, H., Pinzón, E. H., Blair, M., & Izquierdo, P. (2013). Evaluación de líneas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) de retrocruce avanzado entre una accesión silvestre y radical cerinza. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 16(1), 79-86.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2008). *Censo general 2005*. Recuperado de <http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-general-2005-1>.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2016). *3er censo nacional agropecuario. Hay campo para todos*. Recuperado de <http://www.dane.gov.co/files/images/foros/foro-de-entrega-de-resultados-y-cierre-3-censo-nacional-agropecuario/CNATomo2-Resultados.pdf>.
- Doll, J. (1983). *Manejo y control de malezas en el cultivo de frijol*. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).

- Duke, S. O., Lydon, J., Koskinen, W. C., Moorman, T. B., Chaney, R. L., & Hammerschmidt, R. (2012). Glyphosate effects on plant mineral nutrition, crop rhizosphere microbiota, and plant disease in glyphosate-resistant crops. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(42), 10375-10397. doi:10.1021/jf302436u.
- Durán, A., Lambert, T., & Velázquez, R. (2014). Evaluación de genotipos mejorados de frijol negro *Phaseolus vulgaris* en Barinas y Monagas, Venezuela. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 31(2), 63-75.
- Espinal Tascón, L. S. (1977). *Zonas de vida o formaciones vegetales de Colombia*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).
- Eslava, J. (1993). Climatología y diversidad climática de Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 18(71), 507-539.
- Erler, F., & Ates, A. O. (2015). Potential of two entomopathogenic fungi, *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* (Coleoptera: Scarabaeidae), as biological control agents against the June beetle. *Journal of Insect Science*, 15(1): 44.
- Estevez de Jensen, C; Percich J. A. & Graham, P. H. (2002). Integrated management strategies of bean root rot with *Bacillus subtilis* and *Rhizobium* in Minnesota. *Field Crops Research*, 74(2-3), 107-115.
- Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas (Fenalce). (2010). *Indicadores sectoriales de frijol*. Recuperado de http://www.fenalce.org/archivos/situa_frijol.pdf.
- Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas (Fenalce). (2011a). *El sector de cereales y leguminosas ante el TLC: Fenalce*. Recuperado de <http://www.fenalce.org/archivos/comunicadoprensa.pdf>.
- Federación Nacional de Cerealistas y Leguminosas (Fenalce). (2011b). *Situación actual y perspectivas del cultivo de frijol*. Recuperado de http://www.fenalce.org/archivos/Coyuntura_Frijol.pptx.pdf.
- Federación Nacional de Cerealistas y Leguminosas (Fenalce). (2013). *Situación del frijol en Colombia*. Recuperado de http://www.fenalce.org/nueva/plantillas/arch_down_load/Presentacion_Frijol.pdf.

- Flor, M. (1985). Revisión de algunos criterios sobre la recomendación de fertilizantes en frijol. En M. López Genes, F. O. Fernández O., & A. van Schoonhoven (Eds.), *Frijol: investigación y producción*. Cali, Colombia: Programa de las Naciones Unidas (PNUD) y Centro Internacional de Agricultura tropical (CIAT).
- Franco, M., & Valero, L. (2012). Thul Nasa: huerto casero tradicional, modelo de desarrollo alternativo en el resguardo indígena de Yaquivá. *Revista Sustentabilidad*, (6), 1-18
- Gallego, C., Ligarreto, G. A., Garzón, L. N., Oliveros, O. A., & Rincón, L. J. (2010). Rendimiento y reacción a *Colletotrichum lindemuthianum* en cultivares de frijol voluble (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista de la Facultad de Agronomía Medellín*, 63(2) 5477-5488.
- García, A. (2013). *Estudio de las alteraciones inducidas por imazamox en judía y veza para la selección de simbiosis Rhizobium – leguminosa tolerante* (tesis doctoral). Universidad de Granada, Granada, España.
- Gentry, H. S. (1969). Origin of the common bean, *Phaseolus vulgaris*. *Economic Botany*, 23(1), 55-69.
- Gómez, L. (2017). *Estudio de la conversión agroecológica de sistemas agrícolas convencionales de frijol Phaseolus vulgaris L en Carmen de Viboral, Colombia* (tesis doctoral). Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
- González Rodríguez, M., Castellanos González, L., Ramos Fernández, M., & Pérez González, G. (2005). Efectividad de *Trichoderma* spp. para el control de hongos patógenos de la semilla y el suelo en el cultivo del frijol. *Fitosanidad*, 9(1), 37-41.
- Guarín, A. (2008). Carne de cuarta para consumidores de cuarta. *Revista de Estudios Sociales*, (29) 104-119.
- Guimarães, E. P. (2015). *Agricultura intensiva sostenible en América Latina, una mirada hacia adelante*. Recuperado de http://lac.harvestplus.org/wp-content/uploads/2015/09/PresentPCCMCA_EGuimaraes-CIAT_MAY2015.pdf.
- Hahn, J. (1991). Biogeografía terrestre del Caribe colombiano. Sinopsis I. *Dugandia*, 4(1), 11-14.
- Hernández Escobar, I., Urra Zayas, I., Díaz Viruliche, L., Pérez Petitón, J., & Hernández Cuello, G. (2013). Labranza mínima y efecto alelopático en la producción de frijol común en la Empresa Agropecuaria 19 de abril de la provincia Mayabeque. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(3), 46-48.

- Hernández, L., Hernández, N., Soto, F., & Pino, M. A. (2010). Estudio fenológico preliminar de seis cultivares de habichuela de la especie *Phaseolus vulgaris* L. *Cultivos Tropicales*, 31(1), 54-61.
- Herrera Flores, T. S., Ortíz Cereceres, J., Delgado Alvarado, A., & Acosta Galleros, J. A. (2014). Contenido de osmoprotectores, ácido ascórbico y ascorbato peroxidasa en hojas de frijol sometidas a estrés por sequía. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(5), 859-870. doi:10.29312/remexca.v5i5.907.
- Holdridge, L. R. 2000. *Ecología basada en zonas de vida*. San José de Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (s.f.a). *Registro nacional de cultivares comerciales*. Recuperado de <https://www.ica.gov.co/getattachment/Areas/Agricola/Servicios/Evaluacion-Agronomica-y-Control-en-Comercializacio/REGISTRO-NACIONAL-DE-CULTIVARES-COMERCIALES.pdf.aspx?lang=es-CO>
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (s.f.b). *Recomendaciones generales sobre enfermedades en los cultivos*. Recuperado de <https://www.ica.gov.co/Ola-Invernal/Recomendaciones/Archivos/secc-secAGR-0la.aspx>.
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (1992). *Fertilización en diversos cultivos*. Bogotá, Colombia: autor.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec) (2005). *Norma Técnica Colombiana NTC 871*. Recuperado de <https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC871.pdf>.
- Instituto de Estudios Urbanos (IEU). (2017). *Crecimiento urbano en Colombia: alcances y restricciones*. Recuperado de <http://ieu.unal.edu.co/noticias-del-ieu/item/crecimiento-urbano-en-colombia-alcances-y-restricciones>.
- Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (icbf). (2015). *Plato saludable de la familia colombiana. Guías alimentarias basadas en alimentos para la población colombiana mayor de dos años*. Recuperado de <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SNA/guias-alimentarias-basadas-en-alimentos.pdf>
- Instituto Latinoamericano para una Sociedad y un Derecho Alternativos (ILSA). (2010). El sistema agroalimentario: mercantilización, luchas y resistencias. *El Otro Derecho* (42). Recuperado de <http://bibliotecavirtual.clacso.org.ar/Colombia/ilsa/20120710013127/od42completo.pdf>.

- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2012). *Estudio de los conflictos de uso del territorio colombiano*. Bogotá, Colombia: autor.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). (2008). *Guía de identificación y manejo integrado de enfermedades del frijol en América Central*. Recuperado de http://www.observatorioedsicta.info/sites/default/files/docpublicaciones/enfermedades_frijol.pdf.
- Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA). (2009). *Guía tecnológica. Cultivo de frijol*. Recuperado de <http://www.inta.gob.ni/biblioteca/images/pdf/guias/GUIA%20FRIJOL.pdf>.
- Islam, F. M. A., Basford, K. E., Jara, C., Redden, R. J., & Beebe, S. (2002). Seed compositional and disease resistance differences among gene pools in cultivated common bean. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 49(3), 285-293.
- Jarma, A., & Tirado, G. (2004). Efecto bioherbicida de extractos vegetales para el manejo de malezas en algodón en el Caribe colombiano. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, (71), 79-84.
- Kremer, R. J., & Means, N. E. (2009). Glyphosate and glyphosate-resistant crop interactions with rhizosphere microorganisms. *European Journal of Agronomy*, 31(3), 153-161.
- Kwak, M., & Gepts, P. (2009). Structure of genetic diversity in the two major gene pools of common bean (*Phaseolus vulgaris* L., Fabaceae). *Theoretical and Applied Genetics*, 118(5), 979-992.
- Ladizinsky, G. (1998). *Plant evolution under domestication*. Dordrech, Holanda: Kluwer Academic Publishers.
- Lardizábal, R., Arias, S., & Segura R. (2013). *Manual de producción de frijol*. Tegucigalpa, Honduras: United States Agency for International Development (USAID).
- Lau, C., Jarvis, A., & Ramírez, J. (2011). *Agricultura colombiana: Adaptación al cambio climático*. Recuperado de http://dapa.ciat.cgiar.org/wp-content/uploads/2013/02/politica_sintesis1_colombia_cambio_climatico.pdf
- Leihner, D. E., Fuentes de Piedrahíta, C. L., Doll, J. D., Fernández, F. O., Campo, J. H., Cruz, V. R., & Gómez de Enciso, C. (1988). *El coquito (Cyperus rotundus L): biología, manejo y control*. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).

- León, A. (2001). Evaluación de la fertilidad del suelo. En F. Silva Mojica (Ed.), *Fertilidad de suelos. Diagnóstico y control* (pp. 155-186). Bogotá, Colombia: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.
- León, O., Torrealba, G., Higuera, A., Reina, Y., & Sáez, T. (2013). Evaluación agronómica y participativa de cultivares de frijol [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] en Calabozo, estado Guárico, Venezuela. *Revista Científica UDO Agrícola* 13(1), 25-31.
- Ligarreto, G., & Martínez, O. (2002). Variabilidad y genética en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.): I. análisis de variables morfológicas y agronómicas cuantitativas. *Agronomía Colombiana*, 19(1-2), 69-80.
- 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.
- Lombana Coy, J., Martínez Martelo, D., Valverde Sánchez, M., Rubio Oquendo, J., Castrillón Cifuentes, J., & Marino Manga, W. (2012). *Caracterización del sector ganadero del Caribe colombiano*. Recuperado de www.uninorte.edu.co/documents/72553/6f470a48-4af1-4e90-9349-e0c4b05ca242.
- Los desafíos del financiamiento rural en Colombia. (26 de febrero de 2016). *Dinero*. Recuperado de <https://www.dinero.com/economia/articulo/los-retos-y-desafios-del-financiamiento-rural-para-los-productores-colombianos/220683>.
- Maletta, H. (2011). *Tendencias y perspectivas de la agricultura familiar en América Latina*. Recuperado de <http://www20.iadb.org/intal/catalogo/PE/2011/08362.pdf>.
- Márquez, R., Córdova, T., Castejón, L., & Higuera, A. (2003). Efecto de la aplicación de cobertura vegetal de *Cenchrus ciliaris* L. y fertilización fosfórica sobre el porcentaje de control de malezas, rendimiento y concentración de fósforo en semillas de frijol *Vigna unguiculata* (L.) Walp. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 20(4), 443-452.
- Mayo, S., Gutiérrez, S., Malmierca, M., Lorenzana, A., Campelo, M., Hermosa, R., & Casquero, P. (2015). Influence of *Rhizoctonia solani* and *Trichoderma* spp. in growth of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and in the induction of plant defense-related genes. *Frontiers in Plant Science*, 6, 685. doi:10.3389/fpls.2015.00685.

- 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 Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Minambiente). (2007). *Tercer informe nacional. Implementación de la Convención de Naciones Unidas de lucha contra la Desertificación unccd*. Recuperado de http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemas/pdf/Zonas-Secas/5638_010610_tercer_informe_desertificacion.pdf.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). (2016). *Anuario estadístico del sector agropecuario 2014*. Bogotá, Colombia: autor
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). (2017). *Cadena productiva frijol - Área, producción y rendimiento*. Recuperado de <https://www.datos.gov.co/Agricultura-y-Desarrollo-Rural/Cadena-Productiva-Frijol-Area-Produccion-y-Rendimiento/dd2e-aj5n>.
- Ministerio de Cultura de Colombia (Mincultura). (2014). *Süchon Tü Anoushikat Sükaje Juya/Los frutos del desierto de Juya: alimentación, cocina y uso de las plantas silvestres en La Guajira*. Riohacha, Colombia: autor
- Monserate, F. A., Pachón, H., Hyman, G. G., & Vesga, A. L. (2009). Metodología para seleccionar zonas de intervención con cultivos biofortificados. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 26(5), 419-428.
- Montes-Rojas, C., & Paz-Concha, J. P. (2015). Agrobiodiversidad útil en la alimentación y en medicina tradicional en dos municipios del Cauca. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 13(2), 94-103.
- Movilla, B. J., González, 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.
- Muthomi, J. W., Otieno, P. E., Chemining wa, G. N., Nderitu, J. H., & Wagacha, J. M. (2007). Effect of legume root rot pathogens and fungicide seed treatment on nodulation and biomass accumulation. *Journal of Biological Sciences*, 7(7), 1163-1170.
- MyFitnessPal (s.f.a). *Granos San Pedro. Frijol Bola Roja*. Recuperado de <http://www.myfitnesspal.com/es/food/calories/granos-san-pedro-frijol-bola-roja-234256854>.
- MyFitnessPal (s.f.b). *Granos San Pedro. Frijol Cargamanto Rojo*. Recuperado de <https://www.myfitnesspal.com/es/food/calories/200023748>.

- Negreros-Castilla, P., & De Clerk, F. A. J. (1999). Establecimiento de sistemas agroforestales multiestratos. *Red, Gestión de Recursos Naturales*, (14), 18-21.
- Observatorio del Programa Presidencial de Derechos Humanos y DIH (s.f.). *Diagnóstico de la situación del pueblo indígena Kogui*. Recuperado de http://historico.derechoshumanos.gov.co/Observatorio/Documents/2010/DiagnosticoIndigenas/Diagnostico_KOGUI.pdf.
- Oliveira, A., Castro, J., & Vasconcelos, S. (diciembre de 2011). Implantação de quintal agroflorestal urbano no semiárido, Conceição do Coité, Bahia. Recuperado de <file:///D:/Descargas/11447-1-51445-1-10-20111201.pdf>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (s.f.). *FAOSTAT, Crops*. Recuperado de <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2011). *Ahorrar para crecer: guía para los responsables de las políticas de intensificación sostenible de la producción agrícola a pequeña escala*. Roma, Italia: autor.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2013). *Centroamérica en Cifras: datos de seguridad alimentaria nutricional 2013*. Honduras: autor.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2015). *Comida, territorio y memoria. Situación alimentaria de los pueblos indígenas colombianos*. Bogotá, Colombia: autor.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2016). *Beneficios de las legumbres para la salud*. Recuperado de http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/pulses-2016/docs/factsheets/Health_SP_PRINT.pdf.
- Organización Nacional Indígena de Colombia (ONIC). (s.f.a). *Kogui*. Recuperado de <http://www.onic.org.co/pueblos/1115-kogui>.
- Organización Nacional Indígena de Colombia (ONIC). (s.f.b). *Wiwa*. Recuperado de <http://www.onic.org.co/pueblos/1159-wiwa>.
- Ortubé, J., Aguilera, L., & Manchera, R. M. (1994). *Recomendaciones Técnicas para el cultivo de frijol en el Oriente Boliviano*. Santa Cruz, Bolivia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y Universidad Autónoma Gabriel Rene Moreno.

- Ospina, A. (2005). *Agroforestería. Aportes conceptuales metodológicos y prácticas para el estudio agroforestal*. Cali, Colombia: Asociación del Colectivo de Agroecología del Suroccidente Colombiano.
- Ospina, H. F., & Debouck, D. G. (Eds.). (1980). *Morfología de la planta de frijol común (Phaseolus vulgaris L.)*. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Páez, M. (2015). *Turningpoint®: experiencia TIC de apoyo en el aprendizaje y la evaluación educativa en ingeniería ambiental*. Recuperado de <https://www.acofipapers.org/index.php/eiei2015/2015/paper/viewFile/1292/443>.
- Papa, R., & Gepts, P. (2003). Asymmetry of gene flow and differential geographical structure of molecular diversity in wild and domesticated common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) from Mesoamerica. *Theoretical and Applied Genetics*, 106(2), 239-250.
- Papa, R., Nanni, L., Sicard, D., Rau, D., & Attene, G. (2006). The evolution of genetic diversity in *Phaseolus vulgaris* L. En T. J. Mottey, N. Zerega, & H. Cross (Eds.), *Darwin's Harvest: New Approaches to the Origins, Evolution, and Conservation of Crops* (pp. 121-142). Nueva York, EE. UU.: Columbia University Press.
- Pastor-Corrales, M., & Schwar, H. H. (1994). *Problemas de producción de frijol en los trópicos*. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Pedroza, A., Trejo, R., Chávez, J. A., & Samaniego J. A. (2013). Tolerancia al estrés hídrico y fitosanitario mediante indicadores agronómicos y fisiológicos en diferentes variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Mexicana de Fitopatología*, 31(2), 91-104.
- Pedroza-Sandoval, A., Trejo-Calzada, R., Sánchez-Cohen, I., Samaniego-Gaxiola, J., & Yáñez-Chávez, L. G. (2016). Evaluación de tres variedades de frijol pinto bajo riego y sequía en Durango México. *Agronomía Mesoamericana*, 27(1), 167-179.
- Peláez, N., Maluenga, A., Madriz, P. M., Trujillo, A., & Torres, A. (2003). Fenología y evaluación de las estructuras reproductivas de cultivares de frijol mungo en dos localidades del estado portuguesa, Venezuela. *Agronomía Tropical*, 53(1), 87-108.
- Piguet, E., Péroud, A., & de Guchteneire, P. (2011). Migración y cambio climático. *Migraciones*, (30) 161-196.

- Polanía, J. A., Rao, I. M., Mejía, S., Beebe, S., & Cajiao, C. (2012). Características morfo-fisiológicas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) relacionadas con la adaptación a sequía. *Acta Agronómica*, 61(3), 197-206.
- Pontificia Universidad Católica de Chile. (s.f.). *Frejol*. Recuperado de http://www.7.uc.cl/sw_educ/cultivos/index3.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 & Environment*, 24(7), 723-731.
- Puertas-Mejía, M., Ríos-Yepes, Y., & Rojano, B. A. (2013). Determinación de antocianinas mediante extracción asistida por radiación de microondas en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) de alto consumo en Antioquia-Colombia. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 18(2), 288-297.
- Rampoldi, A., Hang, S., & Barriuso, E. (2008). Glyphosate mineralization: Effect of temperature and soybean and corn crop residues. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 68(1), 13-20.
- Red de Información y Comunicación del Sector Agropecuario Colombiano (Agronet). (s.f.). *Área cosechada, producción y rendimiento de frijol en Colombia 1986-2013*. Recuperado de <http://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/default.aspx>.
- Red de Información y Comunicación del Sector Agropecuario Colombiano (Agronet). (2013). *Principales departamentos productores de frijol*. Recuperado de http://207.239.251.112/www/htm3b/excepcionesNuke/cargaNet/netcarga28.aspx?cod=28&submit=Ver+Reporte&reporte=Principales+departamentos+productores&file=200581143357_AgronetEVAArea-ComparacionEntreRegionesOrdenadoporProduccionyArea.rpt&código=28&excepcion=1.
- Ríos Betancour, M. J., Quirós Dávila, J. E., & Arias Restrepo, J. H. (2003). *Frijol. Recomendaciones generales para su siembra y manejo*. Rionegro, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Rivera, M., Polanía, J., Borrero, G., Beebe, S., & Rao, I. (2014). Efecto de la compactación de suelo en características morfo-fisiológicas de frijol común. En Sociedad Peruana de la Ciencia del Suelo, & Sociedad Latinoamericana de la Ciencia del Suelo, *XX Congreso Latinoamericano y XVI Congreso Peruano de la Ciencia del Suelo. "Educar para preservar el suelo y conservar la vida en la tierra"* (p. 7). Cusco, Perú: autor.

- Rodríguez-Castillo, L., & Fernández-Rojas, X. E. (2003). Los frijoles (*Phaseolus vulgaris*): su aporte a la dieta del costarricense. *Acta Médica Costarricense*, 45(3), 120-125.
- Rodríguez, E., Lorenzo, E., De Gracia, R., González, G., & González, F. (1997). *Manual técnico para el manejo integrado del cultivo de poroto (Phaseolus vulgaris en el sistema de mínima labranza*. Ciudad de Panamá: Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (Idiap).
- Rodríguez-Quiel, E., Montenegro-Alonso, A. P., Ureta-Reyas, J. C., Pitty Suiira, N., Gonzáles-Guevara, F., & Muñoz-Fuentes, J. (2012). Combate biológico de la mustia hilachosa (*Thanatephorus cucumeris*) en el frijol en Panamá. *Agronomía mesoamericana*, 23(1), 13-20.
- Román, A., & Arias, 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, J. C. (2003). *Recomendaciones para el manejo Agronómico del cultivo del frijol*. Tegucigalpa, Honduras: Imprenta LitoCom.
- Rudresh, D. L., Shivaprakash, M. K., & Prasad, R. D. (2005). Effect of combined application of *Rhizobium*, phosphate solubilizing bacterium and *Trichoderma* spp. on growth, nutrient uptake and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Applied Soil Ecology*, 28(2), 139-146.
- Sabet, K. K., Saber, M. M., El-Naggar, M. A-A., El-Mougy, N. S., El-Deeb, H. M., & El-Shahawy, I. E-S. (2013). Using commercial compost as control measures against Cucumber Root-Rot Disease. *Journal of Mycology*, 2013, Article ID 324570.
- Salcedo, S., & Guzmán, L. (Eds.). (2014). *Agricultura familiar en América Latina y el Caribe: recomendaciones de política*. Santiago de Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).
- Sánchez, M., Prager, M., Naranjo, R. E., & Sanclemente, O. E. (2012). El suelo, su metabolismo, ciclaje de nutrientes y prácticas agroecológicas. *Agroecología*, 7(1), 19-34.
- Secretaría de Economía. (2012). *Análisis de la cadena de valor del frijol*. Recuperado de https://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/analisis_cadena_valor_frijol.pdf.

- Semillas para la paz permitirá a campesinos cultivar mejores productos. (5 de febrero de 2018). *Caracol Radio*. Recuperado de http://caracol.com.co/radio/2018/02/05/nacional/1517862466_823012.html.
- Shamseer, L., Moher, D., Clarke, M., Gherzi, D., Liberati, A., Petticrew, M., ... Stewar, L. A. (2015). Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015: elaboration and explanation (PRISMA-P). *BMJ*, 349, g7647. Recuperado de <https://www.bmj.com/content/349/bmj.g7647>.
- Shisanya, C. A. (2002). Improvement of drought adapted tepary bean (*Phaseolus acutifolius* A. Gray var. *latifolius*) yield through biological nitrogen fixation in semi-arid SE-Kenya. *European Journal of Agronomy*, 16(1), 13-24.
- Silva Mojica, F. (Ed.). (2001). *Fertilidad de suelos. Diagnóstico y control*. Bogotá, Colombia: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.
- 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).
- Sirinathsinghji, E., & Ho, M-W. (2012). *Banishing Glyphosate*. Recuperado de https://bangmosnowdotcom.files.wordpress.com/2016/08/banishing-glyphosate_with-supplement_2015.pdf
- Solo 25 por ciento de las vías terciarias del país están en buen estado. (30 de mayo de 2017). *El Tiempo*. Recuperado de <https://www.eltiempo.com/economia/sectores/vias-terciarias-de-colombia-en-mal-estado-93430>.
- Tamayo, P. J., & Londoño, M. (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, C. (2013). *Modelo tecnológico para el cultivo de frijol voluble (Phaseolus vulgaris L.) en el departamento de Antioquia*. Mosquera, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).

- Tamayo, P., Otoya, M., & Pastor-Corrales, M. (1995). Diversidad patogénica de *Colletotrichum lindemuthianum*: el patógeno de la antracnosis de frijol, en Rionegro, Antioquia. En Asociación Colombiana de Fitopatología y Ciencias Afines (Ascolfi), *Resúmenes XIII Congreso Nacional de la Asociación Colombiana de Fitopatología y Ciencias Afines* (p. 66). Villavicencio, Colombia: autor.
- Tofiño, A., Tofiño, 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, Colombia. *Perspectivas en Nutrición Humana*, 13(2), 60-71.
- 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., Velásquez-Agudelo, A. D., & Zapata-Tamayo, M. A. (2016b). *Indicadores edafológicos del cultivo de frijol en el Caribe seco colombiano: una estrategia in situ*. Mosquera, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Torruco, J., Dávila, G., Chel, L., & Betancur, D. (2008). Actividad antihipertensiva de fracciones peptídicas obtenidas por ultrafiltración a partir de frijol lima (*Phaseolus lunatus*). *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 18(número especial).
- Universidad Nacional del Litoral (UNL). (s.f.). *Informe sobre la toxicidad del glifosato*. Recuperado de <https://www.unl.edu.ar/vinculacion/informe-sobre-la-toxicidad-del-glifosato/>.
- Valderrama, Y., Núñez, C. E., & Duarte, A. (1997). Evaluación de 26 genotipos de frijol caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) en la zona de vega del río Arauca. *Agronomía Colombiana*, 14(2), 127-137.
- 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).
- Vargas, G., & Gómez, C. E. (2003). La desertificación en Colombia y el cambio global. *Cuadernos de Geografía*, 12(1-2), 121-134.
- 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).

- Yobo, K. S., Laing, M. D., & Hunter, C. H. (2011). Effects of single and combined inoculations of selected *Trichoderma* and *Bacillus* isolates on growth of dry bean and biological control of *Rhizoctonia solani* damping-off. *African Journal of Biotechnology*, 10(44), 8746-8756.
- Zamora Fandiño, N., & Barrera Reyes, O. L. (2012). *Diagnóstico de la infraestructura vial actual en Colombia* (tesis de especialización). Escuela de Administración de Negocios (EAN), Bogotá, Colombia. Recuperado de <http://repository.ean.edu.co/bitstream/handle/10882/3405/ZamoraNelida2012.pdf?sequence=5&isAllowed=y>.
- Zavaleta, E. S., Hobbs, R. K., & Mooney, H. A. (2001). Viewing invasive species removal in a whole-ecosystem context. *Trends in Ecology & Evolution*, 16(8), 454-459.

Glosario

Acervo genético: La suma total de todos los genes y de la información genética poseída por una población dada reproductiva de animales, plantas o microorganismos; para el punto de colección de material genético.

Agricultura familiar: El término incluye todas aquellas actividades agrícolas realizadas por la familia y fundamentadas en la mano de obra aportada tanto por los hombres como por las mujeres.

Arcillas expandibles: La arcilla es un silicato de aluminio hidratado que forma láminas compuestas por partículas de tamaño inferior a cuatro micras, ciertos tipos de arcilla que poseen varias láminas tienen la propiedad de expandirse cuando se hidratan como la montmorillonita y al desecarse se tornan frágiles y quebradizas, perdiendo su volumen.

Aridisoles: corresponde al orden de suelo de mayor distribución a nivel global, que pueden encontrarse en zonas con régimen de humedad baja donde la evaporación supera la precipitación, presentan bajo contenido de materia orgánica y salinidad elevada que limita el establecimiento de la vegetación.

Arvenses: malezas que acompañan a un cultivo agrícola

Arreglo multiestrato: Es un tipo específico de sistema agroforestal que no incluye el componente arbóreo más si el arbustivo y semileñoso en policultivo con especies frutales, hortícolas, tuberosas y aromáticas.

Conductividad hidráulica: Se define como la tasa de movimiento del agua a través de un cuerpo poroso como el suelo o un acuífero.

Cosmovisión: conjunto de creencias que permiten analizar e interpretar el mundo o la realidad desde una perspectiva individual o colectiva

Estrés abiótico: limitantes del orden ambiental que excluyen los factores biológicos y afectan el agroecosistema de manera esporádica o continua.

Evapotranspiración del cultivo de referencia: corresponde a la tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia, bajo condiciones irrestrictas de agua. La superficie de referencia corresponde a un cultivo hipotético de pasto con características determinadas.

Fenología: relación entre los factores climáticos y los ciclos de vida de los seres vivos

Fitopatógenos: microorganismos que ocasionan enfermedades en las vegetales debido a los disturbios que ocasionan en el metabolismo celular.

Hábito de crecimiento: descriptor que permite diferenciar si los vegetales corresponden hierbas, arbustos, enredaderas o árboles. En el caso del frijol permite diferenciar tipos arbustivos de postrados y volubles.

Humedad relativa: contenido de vapor de agua en la atmósfera en un momento determinado.

Meristemo apical: es el responsable de la elongación de los tejidos pues a partir de él se deriva el cuerpo primario de la planta y se encuentra ubicado en ápices de raíces y tallos, principales y laterales.

Modelo productivo agrícola: proceso productivo de alimentos o materias primas para cubrir las necesidades humanas y las demandas de un mercado determinado. El modelo incluye factores tecnológicos, sociales, económicos, ecológicos y culturales.

Nódulos radicales: protuberancias que se forman en las raíces de las leguminosas debido a la infección y establecimiento de bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico, que mantienen una relación benéfica con estos vegetales.

pH: propiedad fisicoquímica que indica concentración del ion hidrógeno en la solución del suelo

Profundidad efectiva: volumen de suelo en el que el sistema radical del vegetal puede expandirse sin mayores obstáculos en su búsqueda de agua y nutrientes.

Recurso genético: material con unidades funcionales de la herencia de cualquier organismo biológico.

Rizobios: Bacterias del suelo que tienen la capacidad de fijar el nitrógeno atmosférico inorgánico y convertirlo en moléculas asimilables por las plantas y otros organismos. También tienen la maquinaria genética necesaria para colonizar las raíces y asociarse con las plantas.

Saturación de aluminio: Según el pH, el aluminio puede estar de forma soluble, intercambiable y tóxica para las plantas (Al^{3+}), o de forma polimerizada como hidróxidos de aluminio o aluminatos, el término indica el porcentaje de la acidez potencial del suelo que está dada por el aluminio intercambiable (Al^{+3}).

Saturación de bases: corresponde a la cantidad de iones cargados positivamente, con exclusión de iones de hidrógeno y aluminio, que son absorbidos en la superficie de las partículas del suelo y se expresa como porcentaje. La saturación de bases se relaciona positivamente con el pH del suelo dado que un valor de saturación de bases alta implicaría que los sitios de intercambio de una partícula de suelo están dominados por iones no ácidos.

Talleres de consenso: metodología para la captura de información, a partir del acuerdo de un grupo o comunidad en torno a un tema de interés general.

Tecnología local de producción: conjunto de técnicas y conocimientos utilizados para la producción en un lugar específico, fomentando la capacidad local.

Textura: proporción relativa de los componentes sólidos del suelo (arena, limo, arcilla).

Topografía: Conjunto de características que presenta la superficie o el relieve de un terreno.

Variedades locales: término que hace referencia a las plantas autóctonas, es decir a aquellas que pueden tener el estatus de nativas o naturalizadas, que no han sido objeto de mejoramiento genético convencional y que se han mantenido por los productores de generación en generación. Presentan, además, ubicación geográfica determinada, heterogeneidad y selección por parte de los productores.

Variedades mejoradas: grupo de plantas con características morfo agronómicas uniformes, estables y predecibles en un ambiente determinado, que han sido producto de las técnicas del mejoramiento genético.

Vertisoles: suelos negros con altas cantidades de arcillas expansivas como la montmorillonita que, al desecarse en estaciones de baja pluviosidad, genera agrietamientos pronunciados en su superficie.

www.siembra.gov.co



El campo
es de todos

Minagricultura