

Colección Análisis y Reflexiones en torno al Sector Agropecuario

Promoción de estrategias biotecnológicas interculturales para la producción agroecológica del policultivo basado en fríjol en el Caribe seco colombiano

Glorismar Castro Amaris
Juan Guillermo Cubillos Hinojosa
Onésimo Jesús Triana Villazón
Adriana Patricia Tofiño Rivera

Colección Análisis y Reflexiones en torno al Sector Agropecuario

Promoción de estrategias biotecnológicas interculturales para la producción agroecológica del policultivo basado en fríjol en el Caribe seco colombiano

Glorismar Castro Amaris
Juan Guillermo Cubillos Hinojosa
Onésimo Jesús Triana Villazón
Adriana Patricia Tofiño Rivera

AGROSAVIA
EDITORIAL

Mosquera, Colombia, 2023

Promoción de estrategias biotecnológicas interculturales para la producción agroecológica del policultivo basado en frijol en el Caribe seco colombiano. / Glorismar Castro Amaris, [y otros tres]. Mosquera, (Colombia) : AGROSAVIA, 2023.

164 páginas (Colección Alianzas AGROSAVIA)

Incluye referencias bibliográficas, fotografías, tablas y gráficos.

ISBN: 978-958-740-644-3

ISBN e-book: 978-958-740-645-0

1. *Phaseolus vulgaris* 2. Propiedades biológicas 3. Biotecnología vegetal 4. Gestión de lucha integrada 5. Normas alimentarias 6. Pueblos indígenas. I. Castro Amaris, Glorismar II. Cubillos Hinojosa, Juan Guillermo III. Triana Villazón, Onésimo Jesús IV. Tofiño Rivera, Adriana Patricia.

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 resultado de investigación de los proyectos: “Investigación sobre la resistencia a la sequía del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) frente al cambio climático: ‘Obtención de variedades para uso comercial o de economía campesina de frijoles tolerantes a la sequía bajo sistemas de producción sostenibles en el Caribe colombiano’”; “Desarrollo de sistemas productivos basados en especies aromáticas y medicinales en asociaciones agroecológicas con variedades mejoradas de hortalizas (ají, frijol y berenjena) para suelos degradados del Caribe” y “Estudios validados in vitro sobre el control de dos aceites esenciales sobre patógenos de importancia económica de frijol, berenjena y ají”.

Colección: Colección Alianzas AGROSAVIA

Tipología: Libro de análisis, prácticas, experiencias y reflexiones

Fecha de recepción: 31 de octubre de 2022

Fecha de evaluación: 30 de noviembre 2022

Fecha de aceptación: 20 de enero de 2023

Publicado: julio de 2023

Preparación editorial

Editorial AGROSAVIA

editorial@agrosavia.co

Dirección editorial: Astrid Verónica Bermúdez Díaz

Edición: Liliana Gaona García

Corrección de estilo: Andrés Castillo Brievea

Diagramación: María Paula Berón Ramírez

Citación sugerida: Castro Amaris, G., Cubillos Hinojosa, J. G., Triana Villazón, O. J., & Adriana Patricia Tofiño Rivera, A. P. (2023). Promoción de estrategias biotecnológicas interculturales para la producción agroecológica del policultivo basado en frijol en el Caribe seco colombiano. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.analisis.7406450>

Cláusula de responsabilidad: AGROSAVIA no es responsable de las opiniones y de la información recogida 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, expresan 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 vulneren como resultado de su contribución.

Línea de atención al cliente: 018000121515

atencionalcliente@agrosavia.co

www.agrosavia.co



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

Los autores	15
Agradecimientos	19
Glosario	21
Introducción general	27
Consideraciones preliminares	27
Novedades y aportes del texto a las territorialidades múltiples del Caribe seco	29

Capítulo I

Producción agrícola de fríjol común en el Caribe colombiano: las limitantes del monocultivo y las posibilidades del policultivo basado en fríjol	33
Características biológicas y fisiológicas del fríjol común	33
Suelos de la región Caribe y del departamento del Cesar	36
Generalidades del cultivo de fríjol en Colombia	38
Importancia del fríjol en el Caribe colombiano	40
Experiencias en el Caribe seco de fríjol bajo asocio	41
Lineamientos culturales del pueblo Kankuamo para el cultivo de fríjol	46

Capítulo II

Aspectos fitotécnicos básicos, normativa y consumo de especies PAMCyA promisorias para el Caribe	49
Especies aromáticas priorizadas en el Caribe	50
Viverización de las especies aromáticas <i>Cymbopogon citratus</i> y <i>Lippia alba</i>	51

Capítulo III

Estrategias promisorias de producción agroecológica de fríjol en el Caribe seco colombiano compatibles con la cosmogonía kankuama (Ley del Sé o Ley de Origen)	61
Consideraciones sobre la producción de ae en el Caribe seco: oportunidades para el manejo sostenible de plagas y enfermedades en cultivos	63
Aceites esenciales	63
¿Qué son los aceites esenciales?	64
¿Qué son las plantas aromáticas, medicinales y condimentarias (PAMC)?	65
¿Cuáles son las funciones de los aceites esenciales en las plantas?	65
¿Cuál es el mecanismo de acción de los ae en las PAMCyA?	65
¿Cuáles son los métodos de extracción de los aceites esenciales y sus ventajas comparativas?	67
Generalidades de los métodos de extracción de los aceites esenciales	67
Ventajas y desventajas comparativas de las técnicas de extracción de los aceites esenciales	69
Principales técnicas de evaluación de aceites esenciales en ensayos de laboratorio	76
Técnicas de aplicación de los aceites esenciales	76
Manejo integrado de plagas y enfermedades (MIPE) en fríjol y cultivos asociados mediante bioinsumos derivados de las PAMCyA	90
Uso de bioproductos basados en aceites esenciales en el manejo integrado de plagas y enfermedades de hortalizas y fríjol	91
Uso de promotores de crecimiento vegetal y acondicionadores para la nutrición sostenible del fríjol	95
¿Qué son las sustancias húmicas (SH)?	97

¿Cuáles son las rizobacterias promotoras de crecimiento de plantas (PGPR)?	104
Eficiencia simbiótica en la fijación de nitrógeno de cepas de AGROSAVIA en cuatro genotipos de frijol común	108

Capítulo IV

Estrategia didáctica para el desarrollo de procesos biotecnológicos locales orientados a la producción agroecológica dentro del pueblo Kankuamo	119
Significado material e inmaterial del frijol y del buen vivir del ser kankuamo	119
Generalidades del pueblo Kankuamo	121
El ordenamiento educativo del pueblo indígena Kankuamo	123
Fundamento de la educación propia	123
Enfoque de la madre naturaleza	124
Metodología	125
Concepción de la investigación directa para el pueblo Kankuamo	126
El trabajo práctico experimental	128
Estrategia didáctica para la enseñanza de la producción sostenible de frijol en el territorio kankuamo	129

Capítulo V

Consideraciones finales	133
Referencias	139

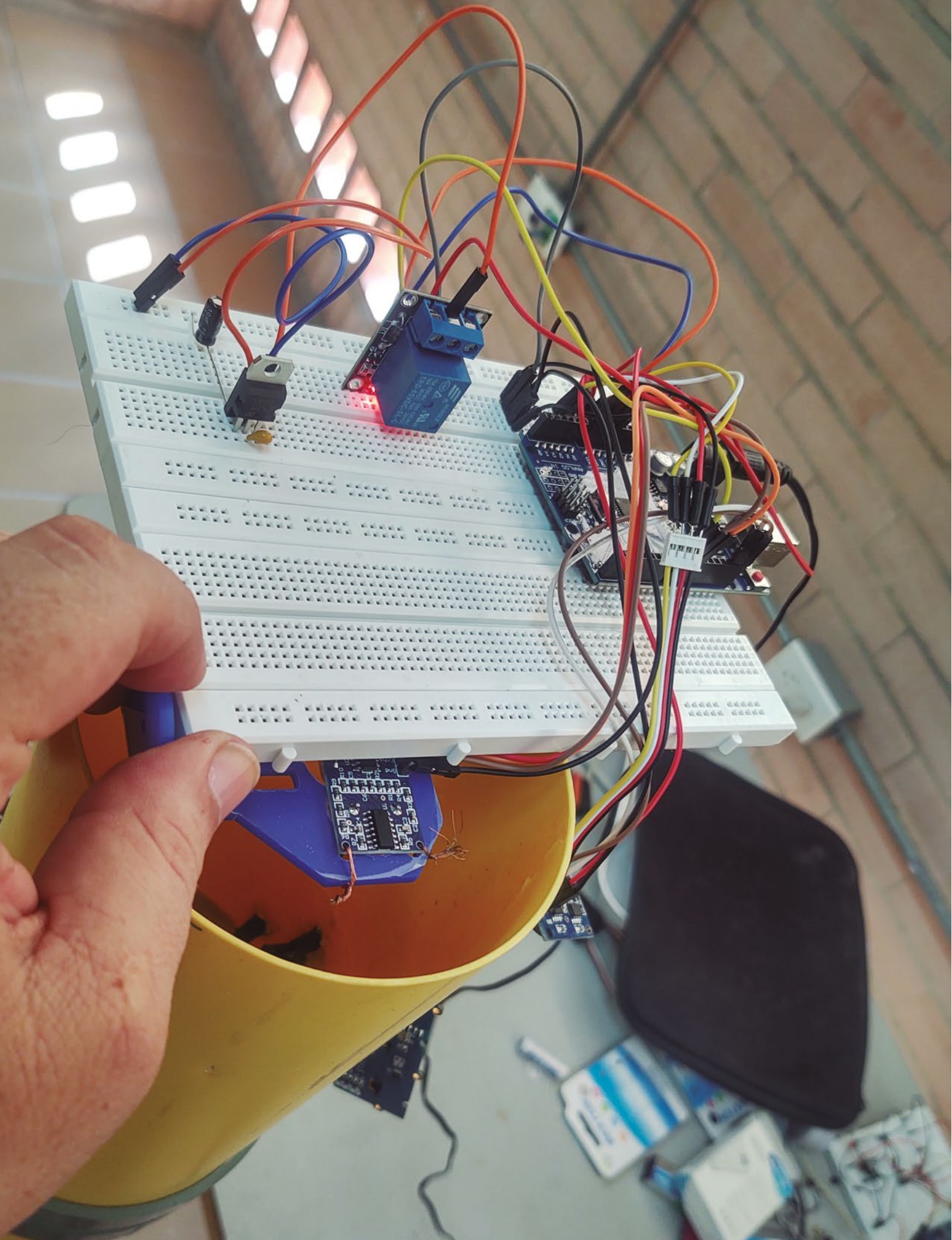


Figura 1	Clasificación taxonómica del fríjol común	33
Figura 2	Hábitos de crecimiento de fríjol <i>P. vulgaris</i> L	34
Figura 3	Descripción de la biología de la planta de fríjol <i>P. vulgaris</i>	35
Figura 4	Fenología de variedades arbustivas del fríjol común (<i>P. vulgaris</i>)	36
Figura 5	Preparación del suelo para la siembra de fríjol en el departamento del Cesar	38
Figura 6	Sustentabilidad de los sistemas de producción orgánica hortícola de acuerdo con diversidad genética y distribución espacial de especies en un módulo de 2.016 m ²	45
Figura 7	Siembra de rizomas de <i>C. citratus</i> en bandejas de invernadero	52
Figura 8	Comparación de métodos de siembra de rizomas de <i>C. citratus</i>	53
Figura 9	Protocolo de producción de bioinsumos a base de los hongos benéficos <i>Trichoderma</i> spp. y <i>Beauveria</i> spp. en biodigestores artesanales (paso 1)	54
Figura 10	Diagrama del protocolo de multiplicación de hongos entomopatógenos en biodigestores artesanales (paso 2)	55
Figura 11	Técnica de acodado	56
Figura 12	Enraizamiento de rizomas de <i>C. citratus</i>	57
Figura 13	Establecimiento en campo de plántula de <i>C. citratus</i>	57
Figura 14	Mecanismos de acción antimicrobiana de los aceites esenciales extraídos de plantas aromáticas, medicinales, condimentarias y afines	66
Figura 15	Métodos de extracción de los aceites esenciales	68
Figura 16	Técnicas de aplicación de los aceites esenciales: difusión de los aceites en agar para el control de hongos miceliales y bacterias	77
Figura 17	Determinación de la CMI del AE de <i>C. citratus</i> en el control de <i>Aspergillus niger</i> y <i>Fusarium</i> spp. En la aplicación del AE por difusión se evaluaron diferentes concentraciones, que permitieron la inhibición del desarrollo de estructuras de reproducción	78

Figura 18	Efecto biocida del AE de <i>C. citratus</i> y alteraciones celulares en <i>C. gloeosporioides</i>	79
Figura 19	Resultado de diferentes concentraciones de AE	79
Figura 20	Esquema de técnicas por dilución de los AE	80
Figura 21	Esquema de microdilución en caldo con aceite esencial de <i>L. alba</i> para el cálculo de la CMI de <i>C. gloeosporioides</i>	81
Figura 22	Protocolo de aspersión de AE de <i>C. citratus</i> para el control <i>in vitro</i> de la hormiga arriera (<i>A. cephalotes</i>)	82
Figura 23	Impregnación por papel filtro: ejemplo práctico con <i>T. castaneum</i> o gorgojo castaño de la harina	83
Figura 24	Esquema de las parcelas con aplicación del AE de <i>C. citratus</i>	83
Figura 25	Toxicidad por uso tópico del AE: ejemplo práctico con el gusano cogollero <i>S. frugiperda</i>	84
Figura 26	Aplicación tópica del AE	85
Figura 27	Efecto repelente de los AE de <i>C. citratus</i> por vaporización: ejemplo práctico con <i>Helicoverpa zea</i>	86
Figura 28	Cámara con ensayo del efecto repelente de diferentes concentraciones del AE de <i>C. citratus</i> sobre adultos de <i>H. zea</i>	86
Figura 29	Protocolo de encapsulación de AE en matrices poliméricas de quitosano	88
Figura 30	Diagrama de los sistemas de liberación sostenida para ensayo <i>in vitro</i> del efecto volátil de los AE. Las variaciones en el diámetro de la manguera dan como resultado tres volúmenes para cada tipo de sistema: 147, 161 y 186 cm ³	89
Figura 31	Fotografía de la reinoculación del patógeno en el sistema 1 con 30 cápsulas, al finalizar los 72 días del ensayo del efecto volátil de los AE. La flecha verde muestra el primer inóculo entre los días 1 y 21 y la flecha roja, el segundo inóculo el día 21	89
Figura 32	Estructura supramolecular de las SH	97
Figura 33	Clasificación de las SH de acuerdo con la solubilidad en función del pH	98

Figura 34	Estructura química de un ácido húmico y uno fúlvico	98
Figura 35	Fuentes principales de SH	99
Figura 36	Principales efectos de las SH en las plantas	100
Figura 37	Evaluación de la aplicación de SH comerciales en la promoción de crecimiento de genotipos de fríjol, con diferentes dosis de aplicación (n = 3)	103
Figura 38	Nódulos activos de la cepa C229 (<i>Rhizobium tropici</i>)	104
Figura 39	Coloración de Gram en una bacteria perteneciente a los rizobios	105
Figura 40	Proceso de asociación simbiótica rizobios-leguminosa para fijación biológica de nitrógeno	106
Figura 41	Esquema de inoculación de genotipos de fríjol con cepas de rizobios	108
Figura 42	Experimento de evaluación de eficiencia simbiótica en la fijación biológica de nitrógeno de cepas de AGROSAVIA en cuatro genotipos de fríjol común	109
Figura 43	Formas más comunes de aplicar inoculantes basados en <i>Rhizobium</i>	113
Figura 44	Inoculación de rizobios con producto de formulación en polvo	113
Figura 45	Inoculación de <i>Rhizobium</i> mediante producto de formulación líquida	114
Figura 46	Técnica de coinoculación de rizobios y <i>Azospirillum brasilense</i>	116
Figura 47	Sierra Nevada de Santa Marta	124
Figura 48	Construcción colectiva de conocimiento	125
Figura 49	Talleres de construcción de conocimiento en el colegio étnico San Fernando de Río Seco	127
Figura 50	Cultivos establecidos en el colegio étnico San Fernando de Río Seco	127
Figura 51	Instalaciones del colegio étnico San Fernando de Río Seco, en armonía con la naturaleza	128

Figura 52	Extractor de aceites esenciales en colegio étnico de Guatapurí	130
Figura 53	Equipamiento del laboratorio en el colegio étnico San Fernando de Río Seco	130
Figura 54	Participación de AGROSAVIA en el v Congreso Indígena del Pueblo Kankuamo, Atánquez, 16 al 20 de diciembre de 2020	131
Figura 55	Plantación de berenjena establecida en el sistema multiestrato de hortalizas del CI Motilonia, Codazzi, Cesar	135
Figura 56	Plantación de fríjol establecida en el sistema multiestrato de hortalizas del CI Motilonia, Codazzi, Cesar	135



Lista de tablas

Tabla 1	Resultados de los análisis de suelo de las localidades del departamento del Cesar	37
Tabla 2	Especies recomendadas para priorizar en la costa Caribe colombiana	50
Tabla 3	Cuadro comparativo de las técnicas de extracción de los aceites esenciales: ventajas y desventajas	69
Tabla 4	Aceites esenciales empleados como insecticidas/nematicidas para el control de plagas de importancia agrícola	93
Tabla 5	Aceites esenciales empleados como bactericidas/fungicidas para el control de enfermedades de importancia agrícola	95
Tabla 6	Productos comerciales en Colombia basados en SH	102
Tabla 7	Inoculantes basados en rizobios registrados en Colombia	112





Los autores

Glorismar Castro Amaris

Correo: gcastroa@unicesar.edu.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0549-1008>

Microbióloga de la Universidad Popular del Cesar, técnica en Seguridad Ocupacional y Riesgos Laborales, especialista en Gestión en Laboratorios de Ensayo y Calibración-Norma ISO/IEC 17025 de 2017. Joven investigadora de la Universidad Popular del Cesar, Programa de Microbiología 2020-2021. Está adscrita como investigadora al Grupo de Parasitología y Agroecología Milenio. Masterando en Microbiología Agrícola e Industrial en la Universidad Popular del Cesar. Actualmente se desempeña como codirectora ejecutiva de la Fundación para el Emprendimiento y Desarrollo Humano (FUNEDH) y como profesional de investigación junior en la empresa de base tecnológica Biointelligenza con sede en Canadá.

Juan Guillermo Cubillos Hinojosa

jgcubillosh@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3391-420X>

Microbiólogo egresado de la Universidad Popular del Cesar, magíster en Ciencias Agrarias, en la línea de Suelos y Aguas, Universidad Nacional de Colombia; PhD en Ciencia del Suelo, en la línea de Microbiología y Bioquímica de Suelos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Brasil). Becario posdoctoral en el Centro de Investigación (CI) Motilonia de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA (2020-2021). También se desempeñó como profesor del Programa de Microbiología y de la Maestría en Microbiología Agrícola e Industrial de la Universidad Popular del Cesar, y estuvo vinculado como investigador al Grupo de Investigación en Microbiología Agrícola y Ambiental (MAGYA). Actualmente es investigador PhD del CI Motilonia de AGROSAVIA. Cuenta con experiencia en el área de microbiología agrícola, ambiental y biotecnología agrícola, y actúa en la bioprospección de microorganismos de interés en agricultura, fitopatología, uso de controladores biológicos, producción de biofertilizantes, microorganismos promotores de crecimiento de plantas y bioactividad de la materia orgánica.

Onésimo Jesús Triana Villazón

Correo: ojtrianav@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0009-0007-8460-3288>

Ingeniero agroindustrial de la Universidad Popular del Cesar, magíster en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de Colombia, especialista tecnológico en procesos fermentativos aplicados a la industria de alimentos. Se ha desempeñado como formulador y ejecutor de proyectos en la Fundación Kootirrawa y el resguardo indígena Kankuamo (etnia a la cual pertenece), facilitador de biotecnología y nanotecnología en el programa tecnoacademias - SENA del ecosistema Senova. En la actualidad se desempeña como docente de ciencias exactas, agroindustria orgánica, matemática y física en la Institución Educativa Agrícola La Mina, en el resguardo indígena Kankuamo.

Adriana Patricia Tofiño Rivera

Correo: atofino@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7115-7169>

Ingeniera agrónoma, magíster en Recursos Fitogenéticos Neotropicales, PhD en Ciencias Agropecuarias, Área Agraria, Universidad Nacional de Colombia. Ha trabajado en investigación y docencia universitaria en conservación de la biodiversidad, fitopatología y fisiología vegetal, biotecnología y procesos sostenibles de producción de cultivos biofortificados, hortalizas, raíces y tubérculos. A partir de los resultados de vinculación tecnológica de las variedades de frijol biofortificado Agrosavia rojo 43 y Corpoica rojo 39 que desarrolló en conjunto con el CIAT, recibió el reconocimiento de la red global pacto Colombia por su contribución al alcance del ods 2 (hambre 0). Actualmente, es investigadora PhD sénior en el Centro de Investigación (CI) Motilonia,, adscrita a la Red de Hortalizas y Aromáticas de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA.





Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al Cabildo Indígena del Resguardo Kankuamo y a la Organización Indígena Kankuama oik; a la Iniciativa de Cooperación entre Corea y Latinoamérica para la Alimentación y la Agricultura (KolFACI), proyecto “Obtaining tolerant bean varieties ID 1001513”; al Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), programa de frijol; a los grupos de investigación en microbiología agrícola y ambiental (MAGYA), parasitología y agroecología milenio de la Universidad Popular del Cesar (UPC); al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia (MADR), y a la Convocatoria 891 de 2020 del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (Minciencias).





Glosario

Alcaloides: Metabolitos secundarios de las plantas, sintetizados por lo general a partir de aminoácidos, que tienen en común su hidrosolubilidad en pH ácido y su solubilidad en solventes orgánicos y pH alcalino, con actividad antimicrobiana.

Apresorio: Estructura adhesiva, achatada, a partir de la cual se origina una hifa afilada que rompe la cutícula de una célula epidérmica del huésped por punción, lo que permite la penetración del micelio para establecer la infección de un hongo parásito de plantas superiores.

Autótrofo: Organismo que produce compuestos orgánicos complejos mediante el uso de carbono de sustancias simples como dióxido de carbono, por lo general con el empleo de energía de la luz o de reacciones químicas inorgánicas.

Auxinas: Hormonas de crecimiento vegetal que contribuyen al crecimiento y desarrollo de la planta por elongación celular.

Citoquininas: Hormonas vegetales cuya principal función es el estímulo de la división celular en los tejidos de las plantas.

Complejo enzimático nitrogenasa: Conformación estructural de enzimas encargadas del proceso de fijación de nitrógeno para convertirlo en amoníaco fácilmente asimilable por parte de las plantas.

Córtex radicular: Región de la raíz cuya principal función es almacenar sustancias.

Cutícula: Capa rígida de quitina y proteínas, situada en el exterior del tegumento y en la parte superior de la epidermis.

Diazótrofos: Bacterias que fijan nitrógeno atmosférico y lo convierten en amonio para que sea asimilado por las plantas.

Enlace carbono-hidrógeno (CH), representado por C-H: Enlace covalente sencillo entre un átomo de carbono y otro de hidrógeno, que se encuentra sobre todo en compuestos orgánicos.

Enlaces pi (enlaces π): Enlaces químicos covalentes donde dos lóbulos de un orbital electrónico se traslapan con dos lóbulos del otro orbital electrónico involucrado.

Entomofauna benéfica: Insectos benéficos de acción controladora sobre otros insectos considerados plagas de importancia económica en los cultivos, bien porque los ingieren, bien porque los parasitan, con lo cual provocan baja movilidad y por último la muerte.

Estrés biótico y abiótico: El primero hace referencia al estrés causado por la actividad de otros seres vivos y el segundo, al causado por el medio ambiente y sus factores.

Etnobotánica: Tradición de las comunidades transmitida de generación en generación sobre uso y valoración de las plantas para cubrir distintas necesidades de la vida.

Fenoles: Compuestos orgánicos aromáticos que contienen el grupo hidroxilo (OH-) como grupo funcional, unido a un átomo de carbono de un anillo bencénico. Se trata de un compuesto con amplio efecto antimicrobiano.

Fitohormonas: Grupo de hormonas vegetales cuyo efecto se produce a muy bajas concentraciones y que modifica el crecimiento y desarrollo de la planta.

Flavonoides: Pigmentos naturales presentes en vegetales, con actividad antimicrobiana, que protegen al organismo del daño producido por agentes oxidantes.

Flavonoides: Compuestos fenólicos producidos por las plantas, que facilitan la atracción de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal.

Giberelinas: Hormonas en zona apical, frutos y semillas, producidas por las plantas, que regulan varios procesos de su desarrollo.

Glicósidos de fenoles: Componentes de origen orgánico de configuración molecular, que contienen al menos un anillo aromático unido a un grupo hidroxilo y un grupo fenol, y a los cuales se les conoce actividad antimicrobiana.

Hemibiotrófico: Patógenos que forman inicialmente una asociación con células vivas del huésped, y que más tarde se vuelven necrotróficos.

Lecitinas: Proteínas defensivas de las plantas que se enlazan a los hidratos de carbono. Son capaces de resistir en ambientes ácidos y a la descomposición intestinal, lo cual tiene una función protectora para las plantas en la naturaleza.

Ley de Origen: Mandato espiritual que orienta el accionar cotidiano de los cuatro pueblos indígenas que habitan la Sierra Nevada de Santa Marta en su propósito de encontrar el buen vivir, el vivir bien o la vida buena. La ley se transmite de generación en generación y sus lineamientos buscan la armonía entre el individuo, la comunidad y la naturaleza, en sus componentes biológicos e inanimados.

Meristemos nodulares: Células situadas en la zona de crecimiento del nódulo que forma la planta para alojar a las rizobios.

Metodología híbrida para la vinculación científico-tecnológica de pueblos ancestrales: Acercamiento multidisciplinario desde las ciencias sociales, la agroecología y el intercambio de saberes con pueblos étnicos, en el que la comunidad plantea los objetivos autónomos que persigue mediante una amalgama de conocimiento ancestral y prácticas agroecológicas que involucra todos los componentes del desarrollo comunitario indígena.

Makú Jogúki: ordenamiento educativo kankuamo, modelo de educación propia como herramienta de avance social y robustecimiento de la autonomía política indígena. Busca la permanencia cultural propia a través de una visión de desarrollo, en la que la formación de niños, niñas y jóvenes es un elemento ideológico que valora en primera instancia los espacios y los modos de vida tradicionales de las comunidades.

Nódulo: Estructura radicular que resulta de la interacción entre una planta y una bacteria, donde ocurre el proceso de fijación biológica del nitrógeno.

Polipéptidos: Secuencia de aminoácidos vinculados mediante enlaces peptídicos.

Quiescencia: Célula en estado vegetativo, sin división celular.

Saponinas: Grupo de glucósidos oleosos, de actividad antimicrobiana, solubles en agua, que producen espumas cuando las soluciones se agitan. Presentes en distintas plantas, entre ellas el abrojo, la saponaria o jabonera, el castaño de Indias, las legumbres, la yuca y el ginseng.

Saprofítico: Denominación dada a los organismos que se alimentan mediante absorción de sustancias orgánicas normalmente provenientes de materia orgánica en descomposición.

Simbiosis: Interacción biológica o asociación entre organismos de especies diferentes para beneficiarse mutuamente en su crecimiento y desarrollo. Un ejemplo es la asociación de las bacterias de rizobios fijadores de nitrógeno y las plantas de frijol.

Supramolecular: Asociación entre una molécula y otra.

Terpenos: También conocidos como “isoprenoides”, son una vasta y diversa clase de compuestos orgánicos derivados del isopreno (o 2-metilbuta-1,3-dieno), un hidrocarburo de cinco átomos de carbono. Son el principal componente de los aceites esenciales de algunas plantas y flores, como el limonero y el naranjo, y tienen actividad antimicrobiana.





Introducción general

Consideraciones preliminares

La crisis ambiental actual demanda cambios en los sistemas de producción agrícola que integren estrategias de producción sostenible, es decir, prácticas que generen menor impacto ambiental en la producción de alimentos. Al respecto, el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ods) número 12 de la Organización de las Naciones Unidas (onu) hace un llamado a la producción y consumo responsables y a garantizar la seguridad alimentaria de alrededor de 9.700 millones de personas que tendrá el mundo en 2050 (Nações Unidas Brasil, 2019). Lo anterior implica reducir el uso de fertilizantes y otros productos de síntesis química, sin afectar la productividad y con estrategias ligadas a la biotecnología que faciliten la adaptación al cambio climático.

Algunas zonas son más vulnerables a los efectos del cambio y la variabilidad climáticas, especialmente las ubicadas en zonas áridas, y una de ellas es la Sierra Nevada de Santa Marta (López et al., 2022). La vulnerabilidad ambiental de espacios de vida de las etnias ha propiciado una tensión entre la producción tradicional y la conservación ambiental. Al respecto, la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA ha adelantado investigaciones para armonizar el conocimiento tradicional con la innovación en producción agropecuaria basada en manejo agroecológico. El objetivo es minimizar el impacto ambiental de la producción de alimentos y evitar la erosión cultural, compromiso del pueblo Kankuamo (Tofiño et al., 2021). De este esfuerzo salió una metodología híbrida de innovación científico-tecnológica para los pueblos ancestrales de Colombia (López et al., 2022). En el marco de estos diálogos e intercambios de saberes entre AGROSAVIA y el pueblo Kankuamo, el cabildo gobernador, Jaime Luis Arias Ramírez, y la Comisión de Economía Propia y Buen Vivir, durante el taller llevado a cabo el 23 de diciembre del 2021 en la casa indígena de Valledupar, expresaron que el pueblo Kankuamo prioriza en su territorio el desarrollo comunitario indígena alrededor de la agroindustria rural de los aceites esenciales, el frijol, la miel de abejas y el mango.

Otro aspecto relevante se deriva del IV Congreso Kankuamo, llevado a cabo en 2016, en el que la comunidad se compromete a recuperar su etnicidad a partir del retorno a raíces culturales, como la conservación y el uso de plantas medicinales y aromáticas y

sus labores agrícolas. Estos aspectos se recalcaron en la Declaración Ancestral del v Congreso del Pueblo Indígena Kankuamo (Organización Indígena Kankuama [OIK], 2022). Sin embargo, este compromiso no riñe con el mejoramiento de la capacidad instalada de las instituciones educativas que cuentan con extractores de plantas aromáticas, cuyos procesos agroindustriales forman parte de la educación media. Este empeño del pueblo Kankuamo en la formación de sus jóvenes para resolver sus necesidades a partir del conocimiento de la naturaleza ya ha dado frutos. En 2021, estudiantes kankuamos de la Institución Educativa San Isidro Labrador, bajo el modelo etnoeducativo Makú Jogúki, obtuvieron los mejores puntajes en Cesar del Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación (ICFES). El modelo educativo étnico, impartido de modo complementario al pènsuam académico nacional, responde al modelo de desarrollo propio, que busca una mayor armonía entre el ser individual, el colectivo y el entorno.

Con respecto a la noción de desarrollo, cabe decir que, en líneas generales, Colombia se ha comprometido mediante la política pública con el cumplimiento de los ODS descritos en el Documento CONPES 3918, especialmente con el número 2 (hambre cero) (Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2018). En referencia a los cultivos que aportan a la seguridad alimentaria, el Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sector Agropecuario (PECTIA) hortícola (2018) prioriza en el departamento del Cesar el cultivo de fríjol en atención a su vocación (reflejada en la comparación de sus áreas de cultivo con las de los otros departamentos de la región Caribe), y a su contribución a la canasta básica regional. Dentro de las demandas tecnológicas, se identifican la disminución de los efectos ambientales en la producción, el manejo de suelos y aguas, el material de siembra, el mejoramiento genético y el manejo del sistema productivo. Por tanto, existe una priorización regional de la necesidad de desarrollar formas de cultivo o nuevas técnicas destinadas a obtener una mayor eficiencia en la absorción de nutrientes adicionados al suelo por parte de las plantas de fríjol tolerantes a sequía en el Caribe colombiano, así como de reducir costos en el uso de fertilizantes minerales, que cada vez son más caros.

Por lo anterior, las estrategias biotecnológicas que promueven las dinámicas biológicas del suelo en beneficio de la productividad son un complemento ideal de los programas de mejoramiento vegetal, para que los cultivos con mayor tolerancia a la sequía y el calor expresen su máxima productividad en articulación con sistemas de producción agroecológica. En ese contexto, en las zonas con Programas de Desarrollo con Enfoque Territorial (PDET) del Caribe y de territorios indígenas como la Sierra Nevada de Santa Marta, se presentan grandes retos para el subsistema de asistencia técnica y la academia, debido al bajo nivel de innovación disponible en la periferia respecto a la zona central del país, a fin de reducir el uso de productos de síntesis química en la agricultura (DNP, 2021).

Este libro es resultado de la investigación y se presenta como una herramienta de apoyo para docentes de educación media y asistentes técnicos. Tiene como objetivo contribuir

al desarrollo con enfoque local y al servicio público de extensión agropecuaria, todo lo cual está en concordancia con el Plan Nacional de Asistencia Integral Técnica, Tecnológica y de Impulso a la Investigación, que detectó vacíos en la formación y capacitación asociada a la asistencia técnica agropecuaria (ATA), sobre todo en lo que concierne a la atención de comunidades étnicas. Por tanto, va dirigido a técnicos, tecnólogos agrícolas, profesionales de las ciencias agrícolas que trabajan con etnias y, especialmente, a los colegios étnicos kankuamos de La Mina y Guatapurí, que incluyen la investigación con aceites esenciales en sus programas curriculares. Respecto a la alineación con la academia regional, se espera que este documento contribuya al direccionamiento de los semilleros de investigación, para que los jóvenes desarrollen investigaciones exploratorias sobre uso y aplicación de microorganismos y aceites esenciales en los sistemas agrícolas con el frijol como modelo, para así contribuir al alcance de las competencias del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SNCTI) relacionadas con estrategias de manejo sostenible del frijol en el Caribe.

El documento presenta resultados de la literatura actualizada, así como proyectos de investigación culminados y en marcha, relacionados con los retos de la producción del frijol en zonas cálidas y secas. Es importante anotar que el texto reseña algunas soluciones que responden a las recomendaciones de la misión de sabios sobre las posibilidades de la bioeconomía. Estas soluciones se basan en la gestión de la bioprospección de especies de importancia regional del país y apuntan a generar nuevos productos que contribuyan a la producción sostenible de alimentos de calidad. También se exponen algunos ejemplos de los diversos usos potenciales de los aceites esenciales en el control sanitario del frijol en el Caribe seco. El propósito de esto último es incentivar a grupos de investigación en formación, a semilleros de investigación y a grupos de asistentes técnicos que, en colaboración con asociaciones de productores, la academia y centros de investigación, deseen avanzar en el desarrollo de nuevos bioproductos que mejoren la inocuidad del sistema productivo de frijol en zonas secas.

Novedades y aportes del texto a las territorialidades múltiples del Caribe seco

Este documento didáctico empieza con la relevancia del frijol como agrocadena en la sociedad colombiana, las consecuencias de la agricultura convencional en el manejo del cultivo y los avances que se han logrado en territorio con esquemas de policultivo. De modo similar se describen las plantas aromáticas, medicinales, condimentarias y afines (PAMCyA) como segunda agrocadena básica de esta propuesta de policultivo, aunque en este caso se incluye además la temática de producción de semilla vegetativa. Una vez descritas estas particularidades de los cultivos, se abordan los desafíos y alternativas de la producción agroecológica de policultivos basados en frijol a partir de dos componentes fundamentales del manejo de la fertilización biológica y sanitario.

Aunque se plantean protocolos y metodologías para evaluar nuevas alternativas de aceites esenciales (AC) que aprovechen la biodiversidad propia en territorio de las PAMCyA, estos elementos no garantizan que los jóvenes de colegios agropecuarios o asistentes técnicos (AT) étnicos apliquen dichas estrategias. Por tanto, se aborda también la estrategia didáctica intercultural que podría aplicarse para incentivar las dinámicas innovadoras en el uso de los AE producidos por jóvenes localmente y por AT. Finalmente, se presenta un análisis integrado de los contenidos del documento y de las particularidades del contexto biocultural de aplicación.

En mayor detalle, el capítulo I aborda la producción agrícola del frijol común en el Caribe colombiano, sus limitantes como monocultivo y sus posibilidades como policultivo. En este capítulo, la información secundaria referida por las agencias estatales se enriquece con la descripción de experiencias locales. El capítulo II, “Aspectos fitotécnicos básicos, normativa y consumo de especies PAMCyA promisorias para el Caribe”, se deriva de los resultados de un proyecto previo financiado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), denominado “Desarrollo de sistemas productivos basados en especies aromáticas y medicinales en asociaciones agroecológicas con variedades mejoradas de hortalizas (ají, frijol, berenjena)”, que evidenció algunas estrategias de manejo del frijol en monocultivo y en asocio.

Estos resultados previos de investigación de asociaciones agroecológicas resultan pertinentes para cumplir con uno de los objetivos del proyecto de frijol tolerante a la sequía (proyecto de la Iniciativa de Cooperación entre Corea y Latinoamérica para la Alimentación y la Agricultura [KolFACI]), y contienen recomendaciones para el manejo del frijol bajo sistema asociado en las condiciones del Caribe seco colombiano. Este aspecto es fundamental dado que en las fincas de comunidades étnicas como la kankuama y de productores de agricultura campesina familiar y comunitaria (ACFC) (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR], 2017) —todos los cuales son beneficiarios de este proyecto—, se cultiva el frijol mediante rotación o siembra intercalada con otras especies hortícolas de importancia económica regional (berenjena, ají topito, plantas aromáticas). Estas especies medicinales y aromáticas, tanto nativas como introducidas, son de gran importancia cultural por su papel en el cuidado de la salud familiar y por sus beneficios ecosistémicos, relacionados con la alelopatía y la atracción de entomofauna benéfica que mejora las condiciones sanitarias del cultivo de frijol. La promoción de la siembra de especies aromáticas con registro de efectos biocontroladores se ejemplifica como una posibilidad de diversificación y de aprovechamiento de las parcelas biodiversas, lo cual contribuye a la autonomía alimentaria y a la dinamización de las microeconomías locales.

En el capítulo III, “Estrategias promisorias de producción agroecológica de frijol en el Caribe seco colombiano compatibles con la cosmogonía kankuama”, se exponen alternativas relevantes para reducir el uso de fertilización mineral e incrementar la eficiencia en la absorción de nutrientes por parte de las plantas de frijol bajo condiciones secas del Caribe colombiano mediante el uso de sustancias húmicas

(rizobacterias promotoras de crecimiento). Estos resultados se alcanzaron durante la estancia posdoctoral de uno de los autores del presente documento, cuyo fin era desarrollar el proyecto sobre sequía de KolFACI. Dicha estancia fue financiada mediante contrato celebrado entre el Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, la Tecnología y la Innovación; el Fondo Francisco José de Caldas del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (Minciencias), y AGROSAVIA, en el marco de la Convocatoria 891 de 2020.

Este capítulo, además, detalla las metodologías aplicables a nivel local para evaluar el biocontrol de plagas y enfermedades, dado que los aceites esenciales tienen un enorme potencial en el control sanitario de los cultivos tanto en pre- como en postcosecha. La apropiación social de estas metodologías de investigación basadas en el uso de la biodiversidad y la agroindustria rural puede constituir un motor de desarrollo endógeno de las etnias y de otras comunidades campesinas organizadas.

En el capítulo iv, se presenta la estrategia “Didáctica para el desarrollo de procesos biotecnológicos locales para la producción agroecológica dentro del pueblo Kankuamo”. Esta información se deriva de los lineamientos del Plan de Salvaguarda, del v Congreso Kankuamo y del modelo educativo étnico kankuamo, desarrollados a partir de la mirada de uno de los autores de este texto, quien se desempeña como docente en el Colegio Étnico de Guatapurí. Estas alineaciones se ratificaron durante el v Congreso Kankuamo, desarrollado en 2022.

Por último, el capítulo v, “Consideraciones finales”, presenta algunas reflexiones sobre el impacto en el territorio de la producción agroecológica de alimentos, necesaria para aliviar la tensión entre el desarrollo comunitario indígena y la crisis ambiental a la que está sujeta la Sierra Nevada de Santa Marta, reservorio biocultural del mundo y reconocido doblemente por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco), primero como reserva del hombre y la biósfera (desde 1974), y recientemente (2022) como sistema de conocimiento ancestral de los cuatro pueblos indígenas que la habitan (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [Unesco], 2022).

Al respecto, este documento se presenta como una apuesta ejecutable de la metodología híbrida propuesta por AGROSAVIA de vinculación científico-tecnológica de los pueblos ancestrales de Colombia (López et al., 2022), metodología en la que se reconoce el conocimiento tradicional y se fusiona con elementos de agroecología y biotecnología, para facilitar el cumplimiento de los objetivos autónomos de las comunidades indígenas, en especial del pueblo Kankuamo.



Capítulo I

Producción agrícola de frijol común en el Caribe colombiano: las limitantes del monocultivo y las posibilidades del policultivo basado en frijol

El cultivo de frijol es clave para alcanzar la soberanía alimentaria, dado que es una especie originaria y domesticada en el continente americano y forma parte de la cultura prehispánica.

Características biológicas y fisiológicas del frijol común

El género *Phaseolus* está constituido por aproximadamente 70 especies, y entre ellas, *Phaseolus vulgaris* L. (figura 1) es una de las domesticadas y cultivadas, objeto del mayor interés económico a nivel mundial, puesto que se desarrolla en regiones templadas y tropicales.

Uno de los aspectos de la planta que determina en mayor grado el modelo productivo y su adaptación a las condiciones ecoambientales es el hábito de crecimiento.

En el frijol común existen diversos tipos de hábitos de crecimiento, que varían desde determinados o arbustivos hasta indeterminados o trepadores, y que pueden cambiar según la zona y la época de siembra (Rozo, Tofiño, Gómez et al., 2018).

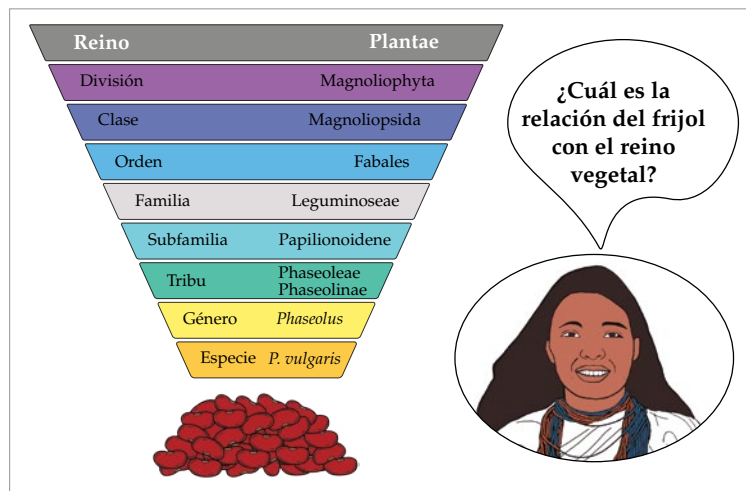


Figura 1. Clasificación taxonómica del frijol común.

Fuente: Elaboración propia con base en Rozo, Tofiño, Gómez et al. (2018)

La planta de frijol *P. vulgaris* presenta cuatro hábitos de crecimiento: determinado arbustivo, indeterminado arbustivo, indeterminado postrado e indeterminado trepador. Este rasgo se relaciona con el potencial de rendimiento del grano, la duración del ciclo de vida y la facilidad de cultivo en asocio. Al respecto, el hábito arbustivo determinado tiende a ser más precoz y se utiliza en sistemas de monocultivo, mientras que los hábitos semiarbustivos y trepadores se establecen más fácilmente con maíz o yuca. El frijol trepador tiene los ciclos de vida más largos (figura 2).

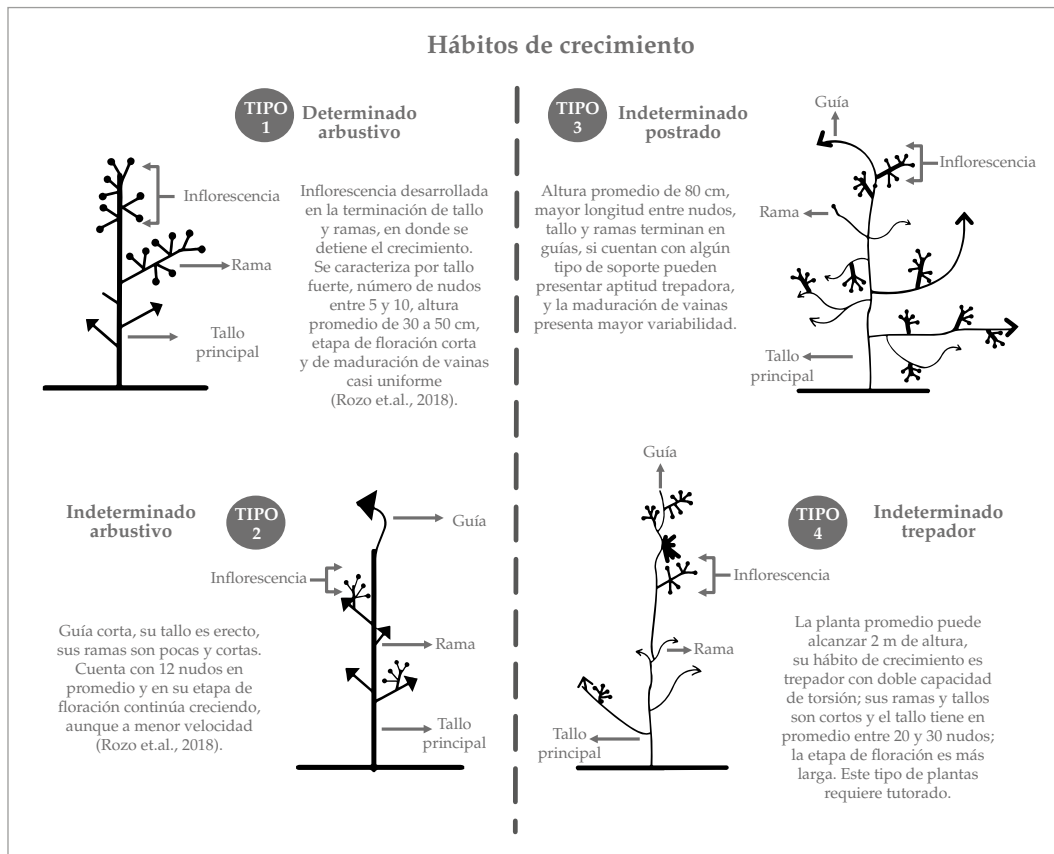


Figura 2. Hábitos de crecimiento de frijol *P. vulgaris* L.
Fuente: Elaboración propia con base en Tofiño-Rivera et al. (2018)

La planta es de días neutros (florece sin importar la duración del día) y tiene potencial de intercalamiento con maíz blanco. El frijol común se caracteriza por ser una planta de tipo arbustivo herbácea, anual y dicotiledónea pues tiene flores completas con pétalos, sépalos y semillas de dos cotiledones. Esto se evidencia durante la germinación en la que los cotiledones se caen para dar paso al par de hojas primarias unifoliadas y estas una vez senescen, dan paso en adelante a las hojas verdaderas, trifoliadas o compuestas. Las flores son muy pequeñas, de color blanco, lila, rosado, rojo y morado, según la variedad. Los frutos, dado que pertenecen a la familia de las leguminosas, tienen forma de vaina y en su interior se forman las semillas, cuyo número, color y tamaño también dependen de la variedad y del tipo comercial. Los estados de vida o fenología del frijol más importantes son la fase vegetativa, la floración, la formación

y el llenado de vainas, la madurez fisiológica y la madurez de cosecha. Durante la madurez fisiológica, las semillas están completamente formadas y las vainas inician el cambio de color, aunque aún están carnosas y su contenido de humedad es muy alto. Durante la madurez de cosecha, las vainas y las semillas pierden humedad (llegan a un promedio de 14 %), y es típico que las plantas pierdan las hojas o se tornen amarillentas (este es el momento de iniciar la cosecha). Dependiendo del tipo de fríjol, sobre todo de su hábito, esta maduración es uniforme o gradual en las diferentes zonas de inserción en la planta. En especial los frijoles volubles requieren varios pases de cosecha mientras que los tipos arbustivos necesitan un menor número. Para la conservación de la semilla, debe bajarse la humedad a 12 % mediante secado bajo sombra para preservar el embrión (Tofiño-Rivera et al., 2019) (figura 3).

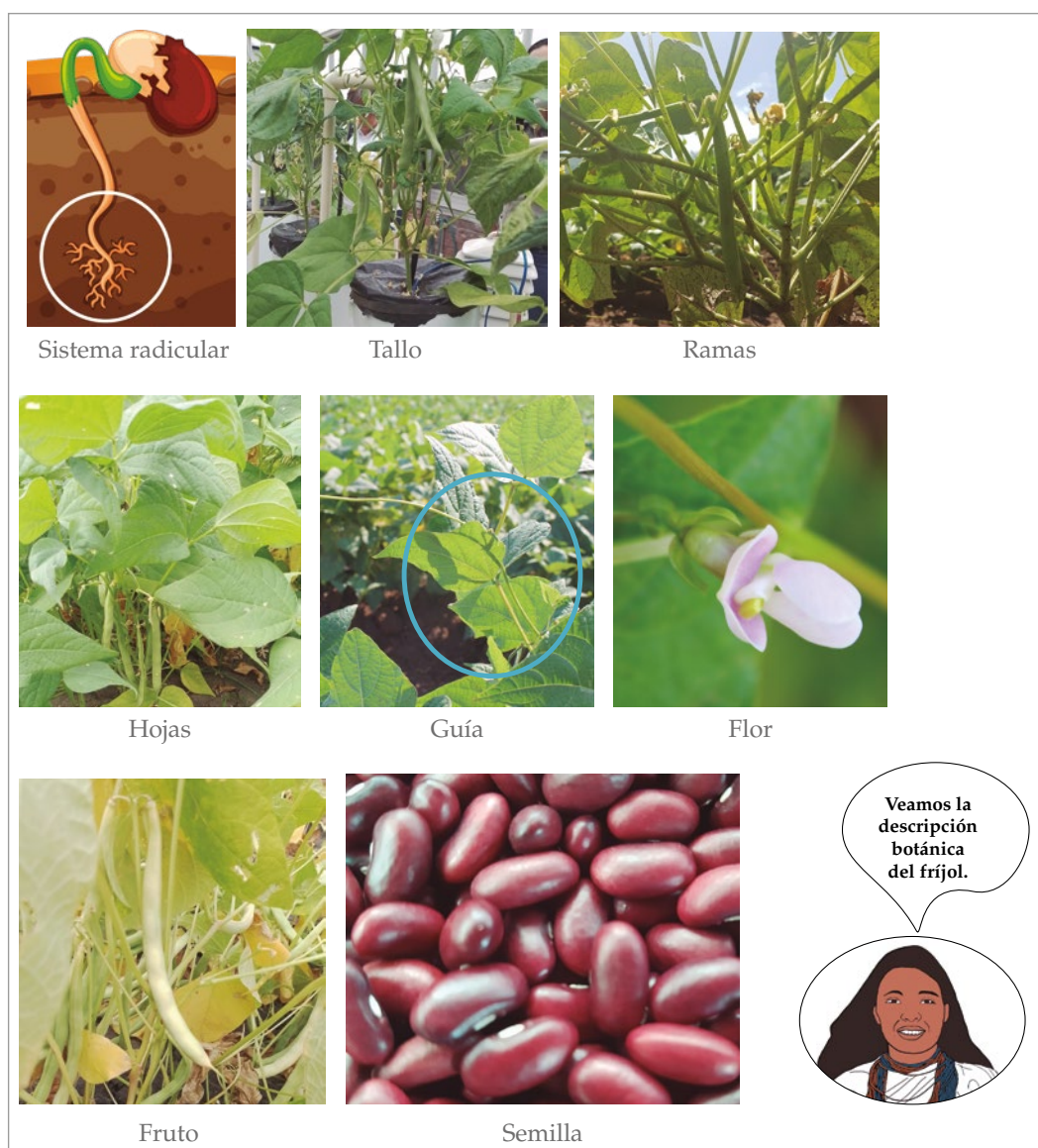


Figura 3. Descripción de la biología de la planta de fríjol *P. vulgaris*.

Fuente: Elaboración propia

La fenología o estados del ciclo de vida de las variedades arbustivas de frijol común (*P. vulgaris*) está influenciada por las condiciones ambientales ya que entre más cálidas sean estas durante el ciclo de desarrollo, el número de días entre emergencia y cosecha tiende a acortarse, y entre más frías y nubladas, tiende a extenderse (figura 4).

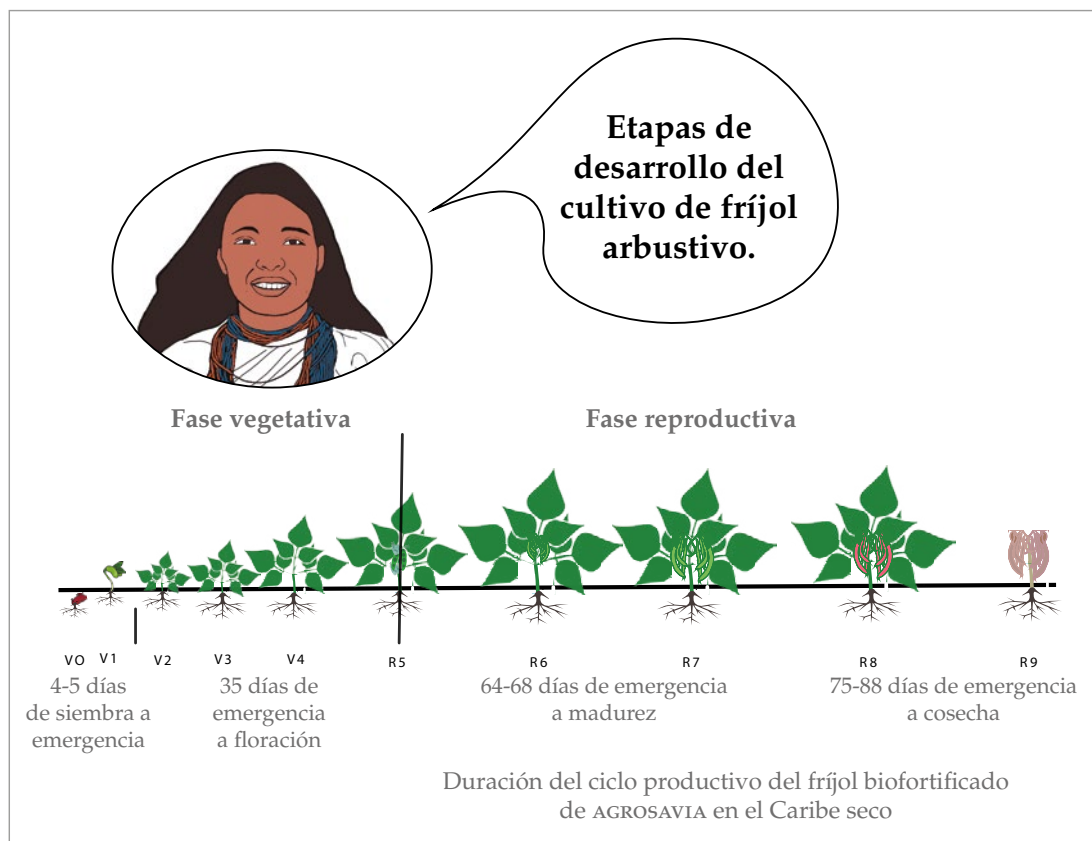


Figura 4. Fenología de variedades arbustivas del frijol común (*P. vulgaris*).

Fuente: Elaboración propia con base en Vargas (2013)

Suelos de la región Caribe y del departamento del Cesar

En la región Caribe, se encuentran tipos de suelos variados, asociados a arcillas expansibles, vertisoles, acumulación de sales y sodio, así como aridisoles. En la Serranía del Perijá predomina el sistema de bosque seco premontano (González et al., 2018), mientras que en la Sierra Nevada de Santa Marta se observan entisoles con régimen de humedad árido (Blanco et al., 2012).

Una mirada general a las características edáficas de zonas con tradición de cultivo de frijol en Cesar (700-1.300 m s. n. m.) evidenció un pH extremadamente ácido en Pueblo Bello, ligeramente ácido en Valledupar y neutro en las otras localidades. Manaure y La Paz presentan altos contenidos de fósforo, calcio y niveles medios a altos de materia orgánica (tabla 1). Los contenidos de potasio y magnesio fluctuaron de bajos a medios. La clasificación por fertilidad de suelo (según metodología del Instituto Geográfico

Agustín Codazzi [IGAC, 2015]) indicó una fertilidad media para los suelos de las localidades de Valledupar y Pueblo Bello, y alta para La Paz y Manaure. Los suelos de las localidades de la Sierra Nevada de Santa Marta son arcillo-arenosos y los de la Serranía del Perijá, de textura franco-arcillosa.

Tabla 1. Resultados de los análisis de suelo de las localidades del departamento del Cesar

Localidad	Textura	pH	MO	P	K	Ca	Mg	Al	Na	CE	SATBAS	SATAL	Fertilidad
			%	mg/kg	cmol(+)/kg						dS/m	%	
Valledupar	ArA	6,0	2,8	48,6	0,33	6,66	1,67	0,0	0,07	0,29	100	0,0	Media
La Paz	FAr	6,8	1,8	81,3	0,19	9,0	1,4	0,0	0,10	0,4	100	0,0	Alta
Manaure	FAr	6,8	3,7	63,5	0,32	6,89	2,10	0,0	0,05	0,20	100	0,0	Alta
Pueblo Bello	ArA	4,7	2,3	3,6	0,14	0,79	0,24	1,15	0,10	0,26	100	41	Media

ArA: arcillo-arenoso; FAr: franco-arcilloso; SATBAS, saturación de bases; SATAL, saturación de aluminio.
Fuente: Elaboración propia

Para el caso del cultivo de frijol, se recomienda que los terrenos sean ondulados o ligeramente ondulados. En lo posible, hay que evitar la siembra en suelos que se compacten fácilmente o que formen costras cuando se secan, y también en suelos pedregosos. Además, se aconseja sembrar en parcelas donde no se haya sembrado frijol en épocas anteriores, con el fin de evitar la incidencia de enfermedades, insectos y malezas propias de este cultivo o de otros similares (Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional [USAID], 2013; Federación Nacional de Cultivadores de Cereales, Leguminosas y Soya [Fenalce], 2018; Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA], 2021b).

En suelos arcillosos, las plantas pueden presentar problemas de asfixia radicular y mostrar rápidamente síntomas de marchitamiento. Adicionalmente, el cultivo tolera niveles medios de salinidad de suelo. En suelos muy ácidos se presentan problemas de crecimiento y producción, caída de flores y pérdida de vigor de la planta (Barrios & Álvarez, 2016).

Los suelos deben prepararse a una profundidad mínima de 30 cm y preferiblemente de 40 cm. En el caso específico del cultivo de frijol, no es necesario arar, es suficiente con la aplicación de dos pases de rastra y luego rastrillo pulidor en zonas planas o mecanizables. En zonas de ladera se utiliza el monocultor y las comunidades indígenas solo utilizan el chuzo y el garabato con los que solamente se remueve el suelo en el punto de siembra del grano. Si no se lleva a cabo siembra mecanizada, se aconseja levantar camas y sembrar en ellas, ya que así se obtienen beneficios de aireación y drenaje y se facilita la siembra, el control de malezas, la fumigación y la cosecha. Sin embargo, en la costa Caribe es usual que el frijol se siembre en pendientes superiores a 35 %, por lo cual no es posible preparar los suelos y en cambio se sigue el esquema de mínima labranza, con siembra en cuadro de 30 × 30 con dos plantas por sitio (figura 5) (Tofiño-Rivera, Velásquez Agudelo & Zapata Tamayo, 2016; AGROSAVIA, 2021b).



Foto: Adriana Tofiño

Figura 5. Preparación del suelo para la siembra de frijol en el departamento del Cesar.

Generalidades del cultivo de frijol en Colombia

En Colombia, las áreas dedicadas al cultivo de frijol se dividen en cinco grupos ambientales: cálido húmedo, templado húmedo, frío seco, templado seco y cálido muy húmedo. Desde el punto de vista de las características ambientales, puede decirse que el grupo templado húmedo tiene las condiciones más favorables para la producción de este cultivo (Barrios & Álvarez, 2016). Las plantas de frijol crecen bien (sin mayores limitaciones o retardos en el desarrollo) con un rango promedio de temperatura de 15 a 27 °C, que en condiciones del Caribe colombiano se encuentra entre 600 y 1.700 m s. n. m.,

si bien el rango de tolerancia cambia según las diferentes variedades. Algunas se adaptan mejor a ciertas condiciones de crecimiento, aunque podrían sufrir daños por cambios ambientales durante su ciclo (por ejemplo, periodos sostenidos de sequía o encharcamiento). La sequía, la presión de enfermedades y la baja fertilidad del suelo son las mayores limitantes en la producción (Herrera et al., 2014).

Asimismo, el clima influye directamente en los procesos fisiológicos. Cada fase está orientada por diferentes condiciones ambientales e influye de manera indirecta como detonante de estrés biótico (Pedroza et al., 2013). En algunas regiones de Colombia, así como en otras partes del mundo, el riego se usa para reducir el estrés hídrico, pero este sistema implica altos costos (Fenalce, 2022). En condiciones del Caribe, los mayores rendimientos de las variedades arbustivas se obtienen con una densidad de 180.000 plantas/ha y una distancia entre surcos de 0,4 m. Algunos registros regionales indican la pertinencia del establecimiento de surcos dobles. Sin embargo, el criterio de la distancia entre plantas varía según la pendiente del lote pues debe evitarse el solapamiento del brote de las plantas vecinas que promueve la aparición de enfermedades foliares. (Pérez et al., 2014; USAID, 2013; Pedroza et al., 2013).

La producción agrícola se enfrenta a varios problemas y entre ellos sobresale la desertificación de las zonas cálidas. En este proceso, los suelos de zonas áridas y semiáridas o de ecosistemas subhúmedos pierden la capacidad parcial o total de desarrollar procesos biológicos, lo cual es resultado de factores como variaciones climáticas y actividades humanas. Esta pérdida de capacidad es de moderada a grave en 25-33 % de todas las tierras secas (Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación [UNCCD], 2017). Además, los riesgos derivados de fenómenos climáticos extremos como El Niño y La Niña afectan la productividad de los cultivos anuales en un 35 %, y las predicciones del cambio climático para la costa del Caribe alertan sobre un aumento de la temperatura de mínimo 2 °C (Brenes, 2010; Lau et al., 2011).

Bajo esta perspectiva, el fríjol, una planta nativa de las Américas, tiene una productividad limitada en áreas cálidas debido al efecto negativo de las altas temperaturas nocturnas (superiores a 23 °C) en la formación del polen y en la consecuente producción de vainas y semillas, lo cual afecta el rendimiento final de grano. Además, las plantas de fríjol, en condiciones de calor y sequía, si bien alcanzan una buena producción de brotes, presentan floración prolongada, caída de flores, baja producción de vainas, bajo rendimiento y granos deformados (Beebe et al., 2011). Para superar este problema, el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), mediante el programa de mejoramiento del fríjol, ha desarrollado múltiples poblaciones derivadas de cruces entre parentales cultivados y silvestres (interespecíficos) y materiales tolerantes al calor, para mejorar la productividad del fríjol común (*P. vulgaris*) en las áreas cálidas y secas (Polanía et al., 2017). Con la participación de AGROSAVIA y la financiación de KoLFACI en un proyecto de seis años, se abre la posibilidad de evaluar estas poblaciones avanzadas en las condiciones agroecológicas del Caribe, para identificar genotipos de alta adaptación al calor y registrar variedades en zonas de vida hasta ahora no disponibles para el fríjol, como el piso térmico cálido (inferior a 600 m s. n. m.).

La adaptación del frijol común a las altas temperaturas nocturnas y a la sequía se ha flexibilizado con la introducción de genes provenientes de especies silvestres relacionadas como *P. acutifolius* y *P. montanus*, procedimiento con el cual se mantiene la mayor parte del genoma de frijol común y se adquiere tolerancia a sequía, rendimiento y calidad nutricional. Mediante consulta participativa, se seleccionarán los genotipos a fin de pasar a pruebas de evaluación agronómica (PEA). El objetivo es registrar en el libro de cultivares nacionales una variedad que produzca más de 800 kg en zonas con temperaturas nocturnas cercanas a 23 °C y consumo hídrico inferior a 540 mm durante el ciclo productivo. Esta nueva variedad complementará la zona de vida no cubierta por las variedades de frijol biofortificado ya liberadas por AGROSAVIA, recomendadas para alturas iguales o superiores a 700 m s. n. m., solo para el Caribe seco, y con las cuales se había dejado desprovista la zona de piedemonte, especialmente de la Sierra Nevada, cuyas comunidades étnicas sufren las mayores deficiencias nutricionales y discontinuidad en la producción de alimento durante el año. Sin embargo, el éxito de las nuevas variedades dependerá de la disponibilidad de modelos productivos sostenibles, ajustados a las condiciones específicas locales.

El Caribe colombiano incluye ocho departamentos, en los que la producción de verduras y frijoles está restringida a las áreas montañosas debido a la alta evaporación y transpiración de las áreas planas, al escaso uso de riego suplementario y a la elevada afectación por fenómenos climáticos extremos (Ruiz & Pabón, 2013). Sin embargo, esta región se caracteriza por altas tasas de pobreza extrema (Marrugo et al., 2015), inseguridad alimentaria y deficiencias de micronutrientes. La zona se podría abastecer con una mayor disponibilidad de frijoles, ya que allí la producción representa 25 % del consumo (Lissbrant, 2015), específicamente en aquellos departamentos de la región Caribe con mayor grado de desertificación (lo que limita su productividad agrícola): Atlántico y La Guajira, con 75 % de su extensión, seguidos de Magdalena, Sucre y Córdoba, con 50-70 % (UNCCD, 2017).

Importancia del frijol en el Caribe colombiano

El frijol forma parte de la dieta regional (Del Castillo et al., 2012), con registros documentados sobre su efecto mejorador de la calidad del suelo por estimulación indirecta de los microorganismos y la cobertura edáfica (Velázquez-Agudelo et al., 2020); además, es una buena fuente de proteínas. Sin embargo, el establecimiento de nuevos núcleos para el cultivo en ecosistemas vulnerables del Caribe puede generar impactos ambientales negativos bajo el esquema de tecnificación actual, ya que existen informes de hasta 20 aplicaciones de insecticidas y de seis a ocho fungicidas en cultivos de todo el país (Mena Rodríguez et al., 2018), lo que justifica la necesidad de desarrollar alternativas de gestión integradas para la producción sostenible de alimentos (Santos et al., 2013). En la región Caribe, el manejo integrado de plagas y enfermedades (MIPE) está limitado, entre otras razones, por la falta de estudios de

compatibilidad entre bioinsumos y agroquímicos comúnmente utilizados en vegetales, y por la poca información sobre distribución regional de hongos fitopatógenos del suelo que atacan al frijol (Santos et al., 2013).

Además, la optimización de los componentes del sistema de producción de frijol permitiría una articulación adecuada de las nuevas variedades tolerantes a la sequía en el esquema de desarrollo económico local (Sánchez-González et al., 2010), aunque otro elemento crítico es la falta de sistemas de producción regional de semillas de frijol de alta calidad. Este es otro aspecto relevante que impacta el manejo del sistema productivo, ya que evita la transmisión de enfermedades desde la planta hacia el grano, lo cual disminuye los problemas sanitarios durante el ciclo de cultivo del frijol. La baja disponibilidad de sistemas de producción local de semillas de alta calidad favorece la mala práctica del productor, quien toma parte de su cosecha de grano como semilla para el próximo ciclo. Por lo tanto, la misma semilla transporta el inóculo de agentes patógenos del suelo como *Fusarium*, *Sclerotium*, *Macrophomina* y *Rhizoctonia*, que causan pudriciones en la raíz y la base del tallo (Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], 2012). El ICA regula la producción, venta y distribución de semillas en el país según la norma 3168 de 2015, que establece los requisitos que las empresas o asociaciones de productores deben cumplir para producir diferentes calidades de semillas. De manera similar, en América Latina se han realizado múltiples esfuerzos para potenciar la producción local de semillas de frijol, a fin de mitigar el problema de la calidad física, sanitaria y genética (Araya & Hernández, 2010).

Experiencias en el Caribe seco de frijol bajo asocio

En el escenario de la agricultura campesina, familiar y comunitaria, el sistema productivo de frijol se integra con especies hortícolas como la berenjena, el ají topito y las plantas aromáticas.

Los cultivos asociados se han presentado como una alternativa para mejorar la productividad en áreas cálidas, ya que aumentan la cobertura del suelo y disminuyen la erosión hídrica y eólica. De hecho, la generación de un microclima para reducir la alta radiación en áreas cercanas al ecuador podría amortiguar la desecación del viento, evitar la pérdida de agua en el agroecosistema y disminuir la presión de plagas y enfermedades (Navarrete-Cornejo et al., 2019). Algunas prácticas de los agricultores de México innovaron la milpa mediante el manejo agroecológico del policultivo de maíz-frijol-calabaza, con rendimientos que superaron los monocultivos de cada especie (Ebel et al., 2017). En este contexto, y en relación con las especies aromáticas y condimentarias, pese a la mayor demanda de productos derivados y procesados, el mercado nacional colombiano y sus exportaciones se han centrado en generar productos frescos y las especies con mayor potencial en esa línea han sido priorizadas (Tofiño-Rivera et al., 2017). Sin embargo, la investigación limitada en los diferentes eslabones de la

cadena productiva (especialmente en la gestión sanitaria) restringe la expansión de la cadena y la consolidación de una oferta de productos mundiales (Vianney & Tovar, 2015). Del mismo modo, los policultivos aromáticos han tenido efectos positivos en la salud de los cultivos de fríjol y vegetales (De Carvalho et al., 2011).

Existen ejemplos de diseños espaciales aplicados en la región que pueden integrarse a los sistemas de producción de fríjol en policultivo con otras hortalizas y aromáticas en zonas secas del Caribe. Una tipología de modelo integrado de producción la constituyen los modelos agroecológicos que consideran el carácter biodiverso de los ecosistemas, al involucrar productos para comercialización, para autoconsumo o para complementariedad ecológica. Estos modelos deben incluir productos como frutales, tubérculos (diversas especies y variedades), leguminosas, hortalizas y aromáticas (Altieri & Nicolls, 2017). La inclusión de especies aromáticas en sistemas agroforestales genera ventajas para la sanidad del sistema, derivadas del potencial alelopático y repelente (Vorraber et al., 2014; Tovar-Puentes & Alvarado-Gaona, 2013). En concreto, los cultivos asociados favorecen las alelopatías o la mutua protección de las especies, como la huerta de hortalizas y medicinales (Tovar-Puentes & Alvarado-Gaona, 2013).

El fríjol responde positivamente a sistemas de siembra asociados en zonas de alta temperatura e irradiación como el Caribe seco, ya que en estos cultivos existe un mayor desarrollo de las plantas y un mayor rendimiento con 20 % de la radiación (Díaz, 2012). Un ejemplo de los efectos beneficiosos de este tipo de arreglos lo evidencia una evaluación en zonas cálidas de Brasil del cultivo asociado fríjol-fennel (aromática apiácea). La evaluación demostró que el asocio con fríjol mejora la materia fresca y seca y el contenido de aceite esencial en la planta aromática (De Carvalho et al., 2011). También se ha registrado una menor incidencia de plagas y enfermedades en cultivos asociados que en monocultivos. Sin embargo, las razones de este escape aún no están completamente dilucidadas. Una de las causas identificadas es que las plantas en cultivos asociados disminuyen su calidad como hospederos de los parásitos, interfieren directamente en las actividades del atacante y generan cambios ambientales que favorecen el control por parte de enemigos naturales. El cultivo asociado de fríjol-avena afecta el ataque de áfidos debido al cambio en el contenido de nitrógeno que genera la avena. Por otro lado, se estimó el índice de diversidad biológica del fríjol biofortificado Corpoica Rojo 39 en mono y policultivo con sorgo forrajero JT18, y como resultado se destacaron los grupos funcionales de insectos fitófagos ($H' = 4,48$), seguidos de depredadores, parasitoides y polinizadores, pertenecientes a siete órdenes taxonómicos de insectos (Coleoptera, Diptera, Hemiptera, Hymenoptera, Lepidoptera, Orthoptera y Neuroptera). Al respecto, según el índice de Shannon, el orden Coleoptera fue el que presentó mayor diversidad tanto en monocultivo como en asocio para ambos materiales vegetales (Cardona, 2019).

De acuerdo con lo anterior, se requieren modelos productivos agroecológicos que favorezcan la adaptación del sistema de producción de fríjol a las altas temperaturas, el déficit hídrico, las inundaciones y los estresores bióticos en la Sierra Nevada de Santa Marta (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [Corpoica], 2015). Algunas investigaciones también destacan los cultivos asociados como una estrategia promotora de la biodiversidad de controladores biológicos, del uso eficiente del área agrícola y de la luminosidad, el agua y los nutrientes (Nicholls et al., 2017).

En cuanto a la comparación entre fríjol en monocultivo y en asociación con el maíz, Vélez et al. (2011) encontraron que el monocultivo de fríjol reduce su rendimiento 20 % y el del maíz, 40 %. Sin embargo, los factores de rendimiento de mayor contribución en los genotipos afectados positivamente fueron número de vainas, número de semillas/vaina y peso de 100 semillas. También se incrementó la producción de biomasa en algunos cultivares cuando se asociaron con girasol.

Godoy et al. (2011) han estudiado el efecto del momento de siembra del fríjol sobre la eficiencia en el cultivo asociado con maíz. Estos autores evidenciaron el efecto positivo del asocio sobre sanidad del cultivo, número de vainas/planta y de semillas/vaina, y encontraron que el mejor momento de siembra del fríjol es quince días antes de la siembra del maíz. En este sentido, los modelos integrados sostenibles basados en cultivos asociados son compatibles con los recursos disponibles para los agricultores familiares (Sourisseau, 2016).

Respecto a la agricultura familiar, puede afirmarse que está ligada de manera indisoluble a la seguridad y soberanía alimentarias, que rescata los alimentos tradicionales y contribuye a la protección de la biodiversidad agrícola y al uso sostenible de los recursos naturales. De esta manera, el concepto de *agricultura familiar* aparece asociado a una noción que da cuenta de sus diversas características: la *multifuncionalidad*. Esta se reconoce como una actividad con múltiples productos, que no solo son básicos (alimentos, forraje, fibra, biocombustibles, productos medicinales y ornamentales) (Rochel Ortega, et al., 2022)

Por otro lado, a diferencia de cultivos agroindustriales como el café, el cacao y perennes como frutales, en el Cesar no se refiere la producción agroecológica de cultivos transitorios y hortalizas (Sánchez Castañeda, 2017; Asociación Hortifrutícola de Colombia [Asohofrucol], 2018; Federación de Orgánicos de Colombia [Fedeorgánicos], 2018). Esto evidencia la necesidad de desarrollar modelos productivos acordes con las particularidades de los productores familiares, con sus limitaciones tecnológicas y con los predios a los cuales tienen acceso (Sanabria, 2017).

En lo concerniente a la generación de modelos productivos agroecológicos interculturales de fríjol, existen posiciones divergentes entre la extensión rural tradicional y la visión de los indigenistas. Sin embargo, dada la no reconciliación entre el enfoque extractivista-mecanicista del discurso sustentable, por un lado, que delinea las

acciones de vinculación tecnológica agropecuaria (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos [OCDE], 2015), y por otro lado, la Ley de Origen (López López et al., 2021) como ruta a partir de la cual se concreta la existencia del kankuamo (reconocida como patrimonio cultural inmaterial para salvaguardar) (Ministerio de Cultura [Mincultura], 2017), se propone un acercamiento desde la agroecología y el intercambio de saberes, para construir una innovación híbrida que armonice el conflicto de la conservación del saber local y la protección de ecosistemas vulnerables frente al cambio y variabilidad climáticas (Galván et al., 2016). Por tal razón, el modelo propuesto en la figura 6 se armoniza con la cosmogonía de los pueblos ancestrales de la Sierra Nevada de Santa Marta. Esta aproximación agroecológica guarda relación con las tradiciones culturales del pueblo Kankuamo.

En este arreglo se tienen en cuenta los resultados alcanzados durante el periodo 2015-2016. Se produjeron hortalizas en el Centro de Investigación (CI) Motilonia bajo diferentes arreglos multiestrato (variantes de los sistemas agroforestales), caracterizados por estratos vegetales de especies leñosas, semileñosas y herbáceas, que conforman un sistema de alta diversidad, con producción durante todo el año, y que generan un aporte significativo a la producción de alimentos básicos en las unidades agrícolas familiares. El arreglo se propone bajo un manejo con enfoque ecológico (sin la adición de pesticidas), monitoreo de la calidad del suelo, así como regulación de plagas y enfermedades y uso eficiente del agua.

La producción de ahuyama, cebolla, berenjena, ají y frijol se favoreció en términos de sanidad y costos de producción gracias al sistema multiestrato, que disminuyó la presión de plagas y enfermedades, y mejoró la cobertura del suelo y el mantenimiento del agua en el ecosistema. En el sistema de agricultura familiar, un porcentaje significativo de mano de obra lo provee la familia. Esto puede considerarse un beneficio de costo de oportunidad ya que los jornales propios aplicados se recuperan con la venta del producto o disminuyen el valor de las compras de alimento por incremento del autoconsumo. En este sentido, el arreglo multiestrato redujo los costos de producción en mantenimiento del sistema (reducción de 20 %) por disminución de mano de obra para desyerbe, de adquisición de agroinsumos (reducción de 80 %) y de mano de obra para control sanitario (reducción de 50 %), e incrementó la eficiencia en el uso del agua (10 %) debido a la disminución de la evapotranspiración y del consumo de líquido. Lo anterior se debe al microclima que se alcanza cuando el sistema está maduro y a la disminución de la incidencia del viento seco de los alisios del noreste sobre los cultivos ubicados en la zona central del arreglo, destinados principalmente a comercialización (figura 6).

Lineamientos culturales del pueblo Kankuamo para el cultivo de frijol

La Comisión Economía Propia y Buen Vivir del resguardo kankuamo se basa en el Plan de Salvaguarda y en las directrices del v Congreso Kankuamo, realizado en diciembre 2022 con el siguiente mandato: “Consolidando la unidad para la paz del territorio ancestral de la Sierra Nevada de Gonawindúa”. Una de las principales conclusiones sacadas en este espacio es que “las familias del Pueblo Indígena Kankuamo seguirán pariendo procesos de resistencia, de paz y de armonía; tejiendo vida desde la buena palabra y pensamiento, como sujetos políticos de especial protección desde la Ley de Gobierno Propio para el buen vivir” (OIK, 2022).

En concordancia con las orientaciones de la Ley de Sé (Ley de Origen), los lineamientos para el manejo cultural del frijol podrían describirse del siguiente modo:

En el tema tradicional, se tiene un ordenamiento establecido por nuestra madre naturaleza en diversos aspectos, esto quiere decir que todos los procesos deben ser orientados por nuestra Ley de Origen, por lo cual cuando vamos a desarrollar un proyecto que pretende establecer la siembra de frijol y cualquier otra especie en nuestro territorio se debe construir ese proceso primeramente en un ámbito espiritual, donde se requiere solicitar los permisos, para poder tener dichos cultivos, todo esto atendiendo a que en el ordenamiento espiritual que tenemos como indígenas Kankuamos todo lo que existe tiene una madre y un padre, de igual manera a todo este tipo de procedimientos se le debe realizar un trabajo de armonización teniendo en cuenta que la funcionalidad del establecimiento del cultivo dependerá de la aceptación por parte de los beneficiarios del proyecto y la comunidad como tal, así como también al seguimiento continuo de las autoridades tradicionales, antecedente a esto desde la parte tradicional espiritual se efectúa una limpieza, orientando a la protección espiritual de dicho cultivos, en este caso el frijol rojo biofortificado, desde nuestros principios tradicionales se le quitan las enfermedades, que no vayan a tener complicaciones en su proceso de establecimiento, sostenimiento y comercialización.

Debemos tener en cuenta que todos estos procedimientos requieren de elementos propios para que se tenga mayor funcionalidad en el tiempo, esto requiere el compromiso de parte de los trabajadores del proyecto, las autoridades tradicionales, los beneficiarios y la comunidad, donde se establecen los compromisos de cada parte:

1. En primer lugar, se debe realizar una jornada de armonización espiritual y un acompañamiento tradicional constante durante el desarrollo de cada proceso para asegurar la buena ejecución del proyecto desde lo espiritual.
2. Debe haber un acompañamiento continuo durante todo el desarrollo del proyecto, especialmente durante el establecimiento, sostenimiento del cultivo de frijol, así como durante su comercialización. Todo se debe llevar a cabo de acuerdo con las orientaciones y requerimientos dados por las autoridades tradicionales, con el fin

de fortalecer los procesos alimenticios de nuestras comunidades y fomentando la recuperación de nuestra soberanía alimentaria; así como su comercialización.

3. En el ámbito ambiental se requiere tener un cuidado estricto con cada beneficiario específicamente en el impacto del establecimiento de monocultivos.

Por último, el proceso de aseguranza y limpieza de la semilla espiritualmente, para que tenga una mayor producción, que no se enferme, y que su producción sea limpia, su alimentación sea sana, para que dichos procesos de producción del frijol biofortificado tengan una funcionalidad y un buen aprovechamiento para nuestra gente, también se piensa y se reflexiona en una comparación sobre los procesos de producción propios en donde tenemos un gran conocimiento y aplicación al respecto.

Habría trabajos constantes en cuanto a recolección de los materiales, y se deben realizar unos permisos previos al inicio de la siembra. (Comisión Economía Propia y Buen Vivir, comunicación personal, 29 de marzo de 2022)

Es importante indicar que en los cultivos de frijol con tecnología tradicional kankuama estarán presentes las plantas aromáticas para el cuidado de la familia dado su efecto alelopático, principalmente como repelentes de algunos insectos plaga y como albergue de entomofauna benéfica. En vista de que las huertas biodiversas con integración de especies medicinales responden al llamado de la Ley del Sé, se busca reforzar el conocimiento en manejo de plantas medicinales. Es por esto que en el siguiente capítulo se presentará una panorámica detallada de la agrocadena de las plantas aromáticas, medicinales, condimentarias y afines, para enriquecer el saber etnobotánico kankuamo con registros de uso, consumo y producción de material vegetal en la costa Caribe y en otras zonas del país, sobre todo de las especies con las que el pueblo Kankuamo tiene experiencias previas en emprendimientos agroindustriales (por ejemplo, de extracción de aceites esenciales, como el pronto alivio [*Lippia alba*], la limonaria [*Cymbopogon citratus*] y el yerbalimón [*Cymbopogon martinii*]).



Capítulo II

Aspectos fitotécnicos básicos, normativa y consumo de especies PAMCyA promisorias para el Caribe

En el país existe una baja disponibilidad de modelos productivos de plantas aromáticas, medicinales, condimentarias y afines (PAMCyA) en la zona andina y los valles interandinos. En el caso de la costa Caribe no se identifican recomendaciones de manejo. A continuación, se presentan algunos resultados validados para las condiciones del Caribe que pueden ser útiles a la hora de establecer plantas aromáticas como parte de las parcelas biodiversas basadas en frijol, dado su valor ecosistémico como repelentes de algunos insectos plaga y como albergue o medio de atracción de la entomofauna benéfica para el agroecosistema.

Una alternativa productiva para Colombia es priorizar especies aromáticas utilizadas en la costa Caribe que hayan demostrado multiplicidad de beneficios y usos. Pero hablar, por ejemplo, de desarrollo de bioinsumos a partir de bioprospección de especies PAMCyA para controlar organismos y microorganismos patógenos de cultivos de importancia económica y alimentaria como el frijol (entre otras leguminosas), sin contemplar los aspectos fitotécnicos ligados a la priorización de estas especies vegetales, genera un diagnóstico tecnológico irreal de este sector en Colombia. Esto impide, entre otras cosas, avanzar en la transformación de la biomasa en productos de exportación como los aceites esenciales (AE).

Brasil es el principal exportador de aceite esencial de naranja y Argentina, uno de los principales exportadores de aceite esencial de limón. Otros países latinoamericanos y en vías de desarrollo, como México y Paraguay, tienen una importante participación en el comercio mundial de aceite de naranja y otros cítricos. Colombia, por el contrario, es un país netamente importador, aunque existen variables como tierra, clima, posibilidad de cosechas varias veces al año, tradición de agricultura y biodiversidad biológica, que podrían transformarlo en exportador (Hurtado & Villa, 2016; Centre for the Promotion of Imports from developing countries [CBI], 2018).

No obstante, la productividad y la calidad de biomasa que requiere el desarrollo industrial de bioinsumos en Colombia y en la zona Caribe se ven comprometidas por la necesidad de definir las zonas agroecológicas que más promueven la concentración y calidad de los ingredientes activos, la época de cosecha con miras a su estandarización, el método de extracción más apropiado para la calidad del aceite y los métodos de evaluación dirigidos a optimizar el control microbiano y de plagas y parásitos.

Especies aromáticas priorizadas en el Caribe

Con base en información secundaria y primaria obtenida en visitas a mercados y en encuestas a comercializadores y usuarios, se decidió priorizar aquellas especies de mayor frecuencia en las zonas de estudio que aparecen en el vademécum colombiano y que presentan mayor comercialización en Colombia (Ministerio de Salud y Protección Social [MinSalud], 2008). Por otra parte, es fundamental que la investigación y la industria se enfoquen en las plantas aromáticas de mayor arraigo regional, para desarrollar investigación con enfoque territorial. Finalmente, y para explicar por qué es importante trabajar con las especies del vademécum, se referencia el Decreto 2266 de 2004, que rige para productos fitoterapéuticos o elaborados con plantas medicinales. En otras palabras, es ilegal producir, transformar y comercializar las que no estén incluidas allí (como suele ocurrir con productos alimenticios sin registro sanitario que se venden a gran escala) (tabla 2).

Tabla 2. Especies recomendadas para priorizar en la costa Caribe colombiana

Nombre común	Nombre científico	Frecuencia promedio (%) *
Albahaca	<i>Ocimum basilicum</i> L.	33,83
Aloe	<i>Aloe vera</i> L.	32,08
Caléndula	<i>Calendula officinalis</i> L.	16,16
Jengibre	<i>Zingiber officinale</i> R.	27,33
Limoncillo	<i>Cymbopogon citratus</i>	26,27
Manzanilla	<i>Anthemis nobilis</i> L.	33,37
Boldo	<i>Peumus boldus</i>	13,55
Ruda	<i>Ruta graveolens</i> L.	13,28
Romero	<i>Rosmarinus officinalis</i> L.	49,39
Yerbabuena	<i>Mentha spicata</i> L.	19,64

* En plazas de Valledupar, Santa Marta, Montería y Riohacha.

Fuente: Elaboración propia

La normatividad colombiana vigente, mediante la Resolución 2834 de 2008 del Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (Invima), estableció el *Vademécum de plantas medicinales colombiano*, cuya edición impresa se publicó en la página web de MinSalud (2008), como referencia obligatoria para expedir el registro sanitario de los productos fitoterapéuticos tradicionales. De manera específica, se generó el Decreto presidencial 1156 que faculta al Invima para elaborar y actualizar el listado de plantas medicinales aceptadas para fabricar productos fitoterapéuticos, soportadas mediante monografías actualizadas del estado del arte (Decreto 1156, 2018).

Los registros de viverización y producción en escalas superiores a los patios y huertas de los pequeños agricultores del Caribe se refieren principalmente a Cuba y Argentina. Por otro lado, se continuaron los trabajos sobre actividad biológica con *Cymbopogon citratus* y *Lippia alba*, debido a la rusticidad que exhibieron en las condiciones ambientales del Caribe colombiano, ya que soportaron los veranos sin estrés visible o pérdidas de plantas y no presentaron patologías de enfermedades a pesar de que en los lotes establecidos se identificaron múltiples patógenos de amplio espectro de actividad, como *Sclerotium rolfsii*, *Phytophthora* spp. y *Fusarium* spp. Adicionalmente, *C. citratus* registra una amplia difusión en Suramérica y el Caribe. Estudios realizados en comunidades tradicionales de Brasil indican el uso de las hojas y raíces de esta especie para atender la salud de las familias y como hidrolatos y purines destinados al control de plagas (Rocha de Moraes et al., 2016). Asimismo, en comunidades indígenas de Paraguay se refiere el uso de esta planta aromática para la salud humana, como antihipertensivo y tranquilizante (Giraldo et al., 2020). En Colombia, la especie la usan los indígenas coreguaje en sus chagras del Amazonas (Trujillo & Correa, 2010); asimismo, se emplea en departamentos de la zona andina como Cundinamarca, donde su frecuencia de uso como antibiótico fue superior a 50 % en la zona de Sumapaz (Cardona & Barrientos, 2012); además, en la zona que se extiende desde Antioquia (Vera Marín & Sánchez Sáenz, 2015) hasta la costa Caribe, se preserva la utilización tradicional de la planta (Tofiño-Rivera, Ortega Cuadros et al., 2016). La literatura la describe como una especie poácea perenne, de color verde intenso, olor fuerte similar al del limón, altura de 0,9 m, hojas que se deprenden de una base arrosetada y flores en espiga (Vera Marín & Sánchez Sáenz, 2015).

A partir de los datos de adaptación y producción de biomasa en temporadas seca y húmeda, se encontró que el limoncillo (*C. citratus*), el prontoalivio (*L. alba*) y el orégano de monte (*Lippia origanoides*) presentaron los mejores resultados agronómicos.

Viverización de las especies aromáticas *Cymbopogon citratus* y *Lippia alba*

A continuación, se detalla el procedimiento empleado en el trabajo llevado a cabo en la zona Caribe:

Procedimiento: El manejo agronómico propuesto para viverización de *C. citratus* y *L. alba*, con continuidad en campo, supone un rendimiento esperado de 1,1 a 2 kg de masa verde por planta o de 20 t/ha en nueve o diez meses. Lo más importante en una plantación de esta especie es obtener 100 % de brote, lo que es perfectamente posible si se cumplen las exigencias establecidas en la selección y preparación de los propágulos, y si se aplica riego hasta 25 días después del establecimiento.

Materiales para viverización:

- Esquejes de aromáticas (*C. citratus* y *L. alba*)
- Bandeja de 72 alvéolos con capacidad de 250 cm³
- Hormona de enraizamiento
- Bioinsumos (*Trichoderma*, micorrizas, *Rhizobium*)
- Cloruro de potasio (KCl)
- Roca fosfórica
- Turba canadiense
- Vermiculita
- Baldes
- Pala jardinera
- Tijera podadora

Preparación de sustrato: Se usa arena con turba canadiense y vermiculita en partes iguales. Se adiciona a las bandejas, y antes de plantar las estacas, la base se impregna con 2 o 3 cm de hormonas de enraizamiento en polvo para favorecer el enraizamiento (figura 7) (Fretes, 2010).



Fotos: Adriana Tofiño

Figura 7. Siembra de rizomas de *C. citratus* en bandejas de invernadero. a. Rizomas sembrados; b. Bandejas para enraizamiento de rizomas.

Método de siembra: Las técnicas que se pueden utilizar son las siguientes: 1) ubicar en el sustrato de manera superficial de la macolla en el sustrato, 2) insertar en el sustrato, clavando la macolla o 3) cubrir y apretar poco a poco para que el cespedón se mantenga firme y se conserve, lo cual constituye una ventaja sobre el primer método, en el cual se corre el riesgo de que se tuerza la raíz (figura 8).



Fotos: Rodrigo Tofiño

Figura 8. Comparación de métodos de siembra de rizomas de *C. citratus*. a. Insertar en el sustrato; b. Insertar y apretar el sustrato. .

Profundidad de plantación: Se recomienda de 25 a 30 cm y tapar el propágulo hasta un tercio de su longitud. Esto permite un mayor grado de ahijamiento y sobre todo un menor número de hijos aéreos. Estas son las causas de que la planta madre se debilite en detrimento de la macolla; además, afecta el tiempo de vida útil de la plantación ya que reduce el número de cosechas económicamente rentables.

Preparación de bioinsumos: Luego de insertar, se aplican 2 g de micorrizas por planta y de *Rhizobium*, y de cinco a diez días después se aplica *Trichoderma* y *Beauveria* (hongos biocontroladores y entomopatógenos). Estos bioinsumos se pueden adquirir en casas comerciales y multiplicar según la figura 9 (paso 1), que corresponde a la preparación del preinóculo, y según la figura 10 (paso 2), donde se indica la multiplicación del hongo.

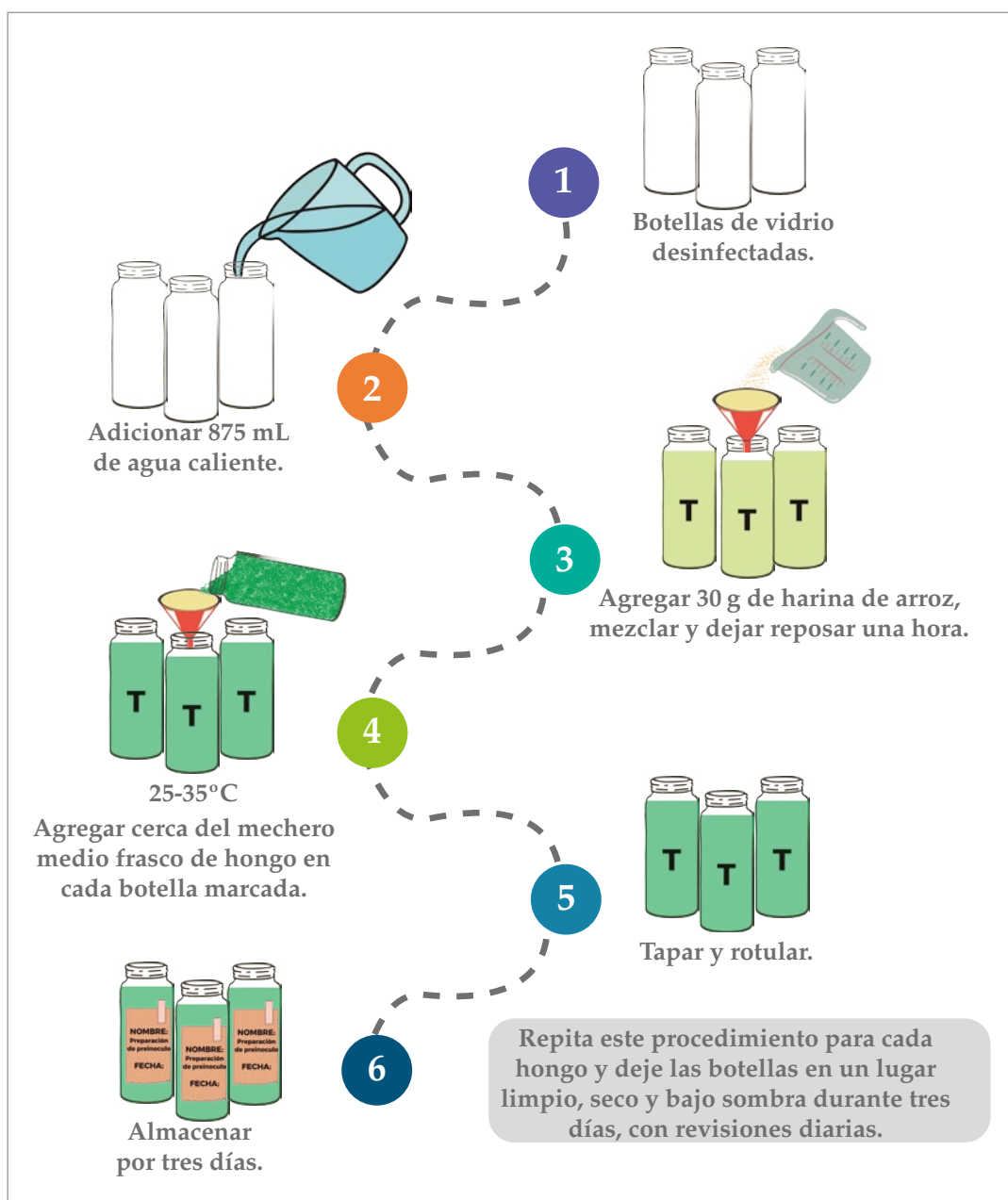


Figura 9. Protocolo de producción de bioinsumos a base de los hongos benéficos *Trichoderma* spp. y *Beauveria* spp. en biodigestores artesanales (paso 1).

Fuente: Elaboración propia

Este protocolo se debe repetir con cada hongo y dejar las botellas en un lugar limpio, seco y bajo sombra durante tres o cuatro días, con revisiones diarias. Para la multiplicación se emplean las tres botellas con el desarrollo del inóculo del paso anterior. El bioinsumo resultante de estos procedimientos tiene una vida útil de 24 horas a temperatura ambiente y de 30 días bajo refrigeración.

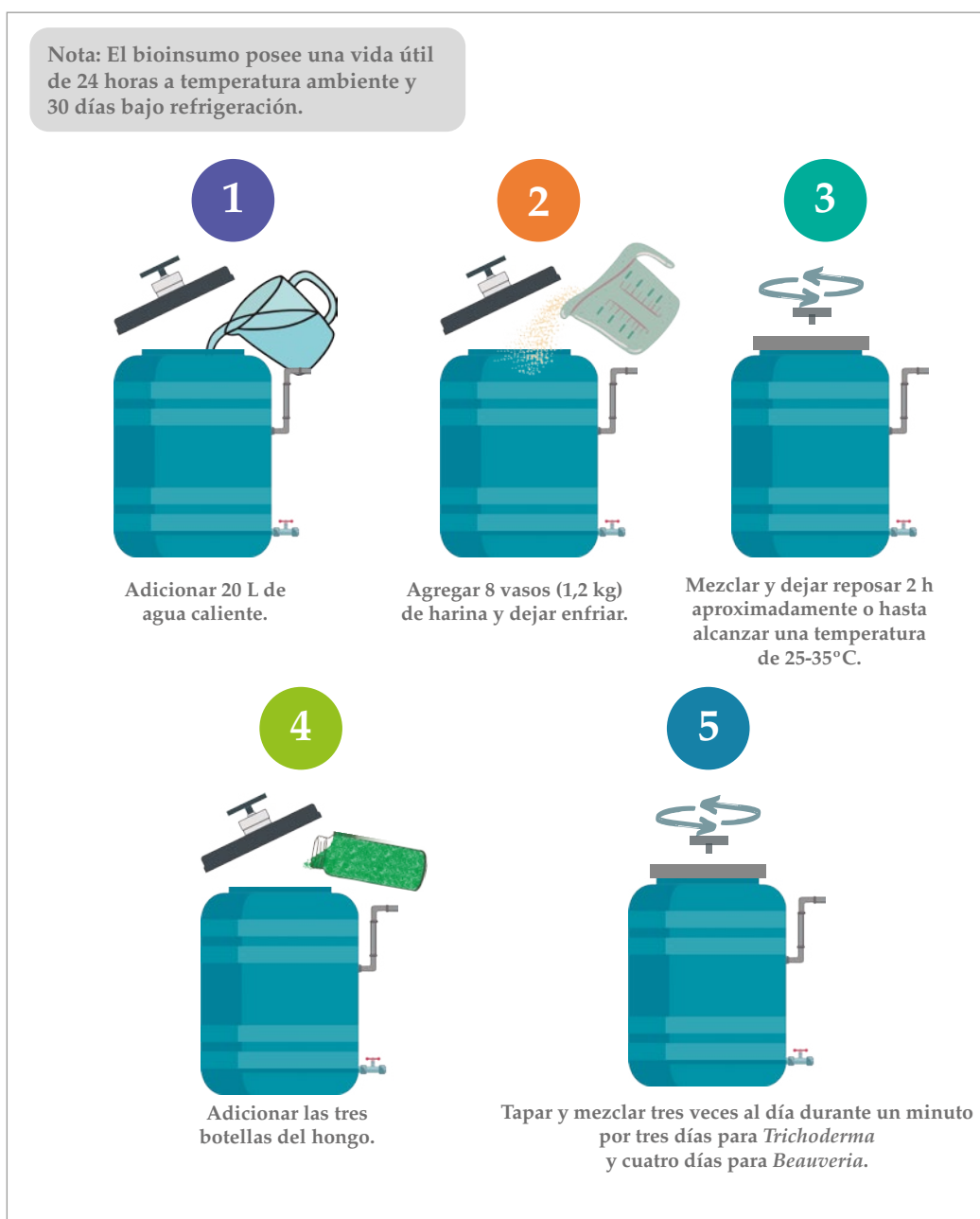


Figura 10. Diagrama del protocolo de multiplicación de hongos entomopatógenos en biodigestores artesanales (paso 2).

Fuente: Elaboración propia

La aplicación de hongos biocontroladores o entomopatógenos en asocio con microorganismos promotores de crecimiento, como las micorrizas y *Azospirillum*, puede conducir a una eficiencia en el rendimiento de 20 a 10 % respectivamente. El efecto de microorganismos promotores del crecimiento vegetal, como la fijadora de nitrógeno de vida libre *Azospirillum brasilense* y las micorrizas del género *Glomus*, se ha revisado en poáceas como *Paspalum atratum* cultivadas en suelos de bajo contenido de fósforo en Argentina, y se han observado resultados similares en gran parte de

los suelos del Cesar. Además, las poáceas como *Cymbopogon martinii* son utilizadas por el pueblo Kankuamo en la extracción de aceites esenciales. En el estudio de referencia, *A. brasiliense* promovió la micorrización espontánea, la cual disminuyó en tratamientos fertilizados. La respuesta de la producción de biomasa en las plantas con menores adiciones de fertilización fosfórica cuando se adicionan micorrizas y *Azospirillum*, no se diferenció de la que se obtiene con fertilización química convencional (Mango, 2019).

Técnica de acodado para multiplicación de L. alba: Se hace que un tallo desarrolle raíces sin separarlo de la planta madre. Una vez enraizado, se separa para obtener otra planta independiente (figura 11) con sus propias raíces y luego se siembra directamente en campo o macetas (figuras 11, 12).

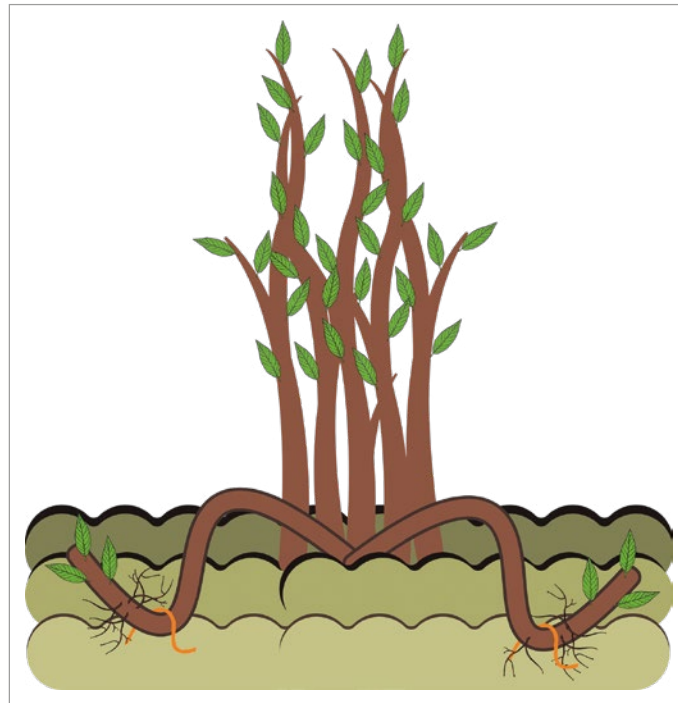


Figura 11. Técnica de acodado.

Fuente: Elaboración propia con base en “Tipos de multiplicación por acodo” (2014)

Medición de parámetros: Al llevar a cabo la plantación, el periodo de brotación es de diez a quince días. El ahijamiento comienza a los 20-30 días y alcanza la maduración fisiológica a los 180, siempre que la plantación haya recibido las atenciones fitotécnicas de fertilización, control de malezas, riego y control fitosanitario. Se escogen diez esquejes que estén en competencia completa (figura 12) y de cada uno se determina altura (cm) (figura 12a), longitud de raíz (cm) y porcentaje de enraizamiento (%) (figura 12b). Una vez el tallo alcanza grosor y rusticidad, por lo general después de 60 días, se puede establecer en campo (figura 13).



Fotos: Adriana Tofiño

Figura 12. Enraizamiento de rizomas de *C. citratus*. a. Rizoma con hijuelos; b. Rizomas con diferentes edades de enraizamiento.

El desarrollo de las plantas madre es fundamental puesto que permite que la planta resista el entresaque de rizomas sin comprometer su supervivencia (figura 13a). Además, el desarrollo radical garantiza el establecimiento de los rizomas en condiciones de campo, sobre todo en el Caribe seco, donde la aridez y la baja calidad del suelo exigen un rápido suministro de agua y nutrientes en el proceso de aclimatación del material vegetal (figura 13b).



Fotos: Adriana Tofiño

Figura 13. Establecimiento en campo de plántula de *C. citratus*. a. Rizomas a partir de plantas madre bien desarrolladas a los 18 meses de establecimiento; b. Punto de siembra en campo con profundidad suficiente para un sistema radical bien desarrollado y adición de materia orgánica para facilitar el establecimiento.

La aplicación de buenas prácticas de reproducción de material vegetal de plantas aromáticas y medicinales propicia su diseminación en las huertas tradicionales de las familias kankuamas, dado que además del alimento, se deben producir las plantas utilizadas en la medicina tradicional para el cuidado de la salud. Este arraigo cultural facilita la estructuración de parcelas agrobiodiversas que aprovechen los beneficios de integrar este tipo de plantas a la sanidad del sistema, beneficios que se derivan de sus propiedades repelentes de plagas, controladoras de hongos patógenos del suelo y del abrigo que brindan a insectos benéficos de los cultivos. Esto significa que las especies aromáticas en las huertas kankuamas aportan salud a la familia y a los cultivos. De acuerdo con lo anterior, en el siguiente capítulo se presentan algunas consideraciones sobre el aprovechamiento integral de las plantas aromáticas más allá de su cultivo, ya que se consideran de enorme potencial para el desarrollo de nuevos bioinsumos basados en aceites esenciales. Al respecto, debe considerarse que se requieren áreas de cultivo suficientes para el suministro continuo de biomasa fresca destinada a la extracción de aceites. Por tanto, los viveros de producción de esquejes o semillas y el incremento del número de familias con especies aromáticas son elementos necesarios para avanzar en una estrategia de desarrollo autónomo basado en la bioeconomía. En este sentido, la agroindustria ha sido un motor relevante en el desarrollo autónomo kankuamo y, por ende, en el próximo capítulo se abordarán en concreto algunos conceptos sobre el uso de aceites esenciales como controladores de plagas y enfermedades vegetales. Además, como complemento del manejo sanitario agroecológico, se presentarán los elementos conceptuales del uso de microorganismos y otras sustancias naturales para la adecuada nutrición del cultivo modelo del frijol común.





Capítulo III

Estrategias promisorias de producción agroecológica de fríjol en el Caribe seco colombiano compatibles con la cosmogonía kankuama (Ley del Sé o Ley de Origen)

El crecimiento de la población mundial deberá desacelerarse aún más en el futuro, y se espera que la población alcance alrededor de 9.700 millones en 2050 según las Naciones Unidas (Nações Unidas Brasil, 2019). En ese sentido, uno de los mayores desafíos para la agricultura es el mantenimiento de la producción de alimentos en aras de garantizar la seguridad alimentaria de la creciente población mundial, sin comprometer los recursos naturales y con la garantía de proteger el medio ambiente y producir fuentes de energía renovables para las generaciones futuras.

En el último siglo, la intensificación agrícola ha sido impulsada por el uso indiscriminado de fertilizantes químicos, y aunque estos últimos aumentan considerablemente los rendimientos de los cultivos, también han tenido un impacto negativo en el medio ambiente, lo que se refleja en un cambio climático irreversible y pérdidas en muchos servicios ecosistémicos. Las consecuencias negativas de la producción de alimentos continúan avanzando a un ritmo alarmante y no muestran signos de disminuir (Altieri & Nicholls, 2017). Además, un aumento de las actividades agrícolas empeoraría aún más los impactos negativos del cambio climático global, lo que conduciría a una mayor incertidumbre en la seguridad alimentaria (Tilman et al., 2011). Es necesario revisar las prácticas actuales de producción agrícola insostenibles, ya que los modelos vigentes de intensificación agrícola no son ni social ni ambientalmente sostenibles. Por lo tanto, se necesitan estrategias que ayuden a promover la intensificación de la producción sostenible para satisfacer la demanda de alimentos.

En referencia a los cultivos que aportan a la seguridad alimentaria, el Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sector Agropecuario (PECTIA), en su área hortícola, prioriza el cultivo de fríjol en el departamento del Cesar debido a una vocación que se refleja en una mayor cantidad de áreas de cultivo en comparación con otros departamentos de la región Caribe y en su contribución a la canasta básica regional. Se identifican como demandas tecnológicas la disminución de los efectos ambientales en la producción, el manejo de suelos y aguas, el material de siembra, el mejoramiento genético y el manejo del sistema productivo. Por tanto, en la región se prioriza la necesidad de desarrollar formas de cultivo o nuevas técnicas que permitan una mayor eficiencia en la absorción de nutrientes adicionados al suelo por parte

de las plantas de frijol tolerantes a la sequía en el Caribe colombiano, así como la reducción de costos mediante fertilizantes minerales, que cada vez son más costosos.

El mayor desafío es la construcción de sistemas de producción de alimentos basados en estrategias sostenibles denominadas “intensificación de la agricultura ecológica”, que promuevan el uso eficiente de nutrientes, reduzcan la necesidad de control de plagas y enfermedades, aumenten la eficiencia y conservación del uso del agua y restauren la fertilidad del suelo (Tittonell, 2014). Estas estrategias tienen como objetivo reducir la dependencia de insumos externos y mantener altos niveles de productividad (Tilman et al., 2011).

La producción de frijol y hortalizas en regiones secas presenta ventajas comparativas respecto a zonas más húmedas, ya que en las primeras existe una menor incidencia de enfermedades que afectan la parte aérea de la planta, incluidos los frutos. Sin embargo, las enfermedades del suelo y las plagas constituyen un enorme reto para los sistemas de producción sostenible en vista de la baja disponibilidad de agroinsumos con poca residualidad y toxicidad que sean aceptados por la normativa del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) y por las regulaciones de calidad internacional. Lo mismo puede decirse de los bioinsumos (principalmente de origen microbiano), cuyo aislamiento y desarrollo se ha realizado en otras zonas del país con condiciones agroecológicas divergentes, lo cual limita su efectividad en el Caribe colombiano, donde la temperatura, la humedad relativa, la alta radiación solar y el contenido de rayos ultravioleta (uv) limitan su efectividad. Este escenario exhorta a universidades, empresas y Estado a enfocar sus esfuerzos en el desarrollo de sistemas de producción sostenibles a partir de desarrollos locales, para así aprovechar las oportunidades que brinda la ubicación de puertos internacionales en zonas aledañas a los centros de producción de frutas, hortalizas y frijol, con el fin de exportar y satisfacer las demandas de mercados que exigen inocuidad. El manejo del frijol debe ser objeto de especial consideración dadas sus características de planta fitoextractora, que acumula sustancias tóxicas y metales pesados en la semilla.

A continuación, se presenta el contexto actual, el cual refleja los retos de la producción sostenible de hortalizas y frijol en la región Caribe y la necesidad de aunar esfuerzos para desarrollar alternativas de manejo sostenible y aprovechar la biodiversidad y las materias primas disponibles en la región (como bioinsumos, biofertilizantes y acondicionadores). Es importante precisar que los bioproductos son insumos cuyo ingrediente activo corresponde a una molécula o derivados de origen biológico, a biomasa o a recursos renovables. En el sector agropecuario, los bioproductos incluyen bioplaguicidas, biofertilizantes, bioestimulantes, probióticos, prebióticos, aditivos biológicos, vacunas, entre otros.

Consideraciones sobre la producción de AE en el Caribe seco: oportunidades para el manejo sostenible de plagas y enfermedades en cultivos

La producción de aceites esenciales está estrechamente relacionada con la cantidad de biomasa producida, la cual a su vez depende de factores intrínsecos y ambientales como la fertilidad del suelo, los periodos de lluvia y sequía, la radiación solar y la temperatura, entre otros (Scalvenzi et al., 2016). En Colombia, por ejemplo, el rendimiento de extracción de *Lippia* es de 1 % en zonas cálidas; por tal motivo, para mantener una planta de 600 kg por ciclo, se requieren de 6 a 17 ha de cultivo como mínimo (Barrientos et al., 2012; Villamizar-Véliz & Aular, 2022). Bonilla et al. (2013) revisaron la descripción botánica, el cultivo y la poscosecha de *L. alba*, aunque las recomendaciones de manejo se restringen a la producción de biomasa y no abarcan la maximización de las características agroindustriales de la materia prima, en tanto que el manejo se basa en los criterios de la agricultura convencional, con sus consecuentes efectos sobre el ambiente. En esta misma línea, Delgado et al. (2015) encontraron que el nitrógeno y el magnesio afectaron el rendimiento de extracción y la composición porcentual de terpenos de diferentes accesiones de *Lippia origanoides*. A diferencia de lo referido en *Lippia*, en *Cymbopogon citratus* no se presentaron diferencias en la calidad del aceite en función de la variación del contenido de nitrógeno, pero sí fue significativo el efecto de la edad del rebrote sobre su calidad (Delgado Ospina et al., 2016). De acuerdo con lo anterior, se recomiendan adiciones intermedias de nitrógeno (120 kg/ha) y la cosecha de rebrotes para la agroindustria a los 60 días, para la obtención de 73 % de concentración de citral, que es lo requerido para el uso industrial (Delgado et al., 2015).

Por otro lado, en la costa Caribe las plantas aromáticas no se cultivan como monocultivos ni tampoco en grandes áreas. Pertenecen a un sistema de agricultura familiar, donde acompañan especies principales, y se utilizan principalmente para el cuidado de la salud de la familia. En este sentido, considerar una opción agroindustrial en la zona implicaría producción asociativa, la instalación de industrias en zonas aledañas a los puertos del Caribe y contar con un modelo productivo sostenible.

Aceites esenciales

Las PAMCyA en el Caribe seco colombiano cuentan con un enorme arraigo cultural en los sectores rurales. Estas especies siempre están presentes en las huertas de los pequeños productores, en las cabeceras y zonas aledañas de los cultivos, para el cuidado de la salud de la familia y los animales. De este tipo de plantas se obtienen los AE, que son un producto agroindustrial intermedio puesto que también constituyen la materia prima de diferentes industrias especializadas en la elaboración de productos de alto valor, en los sectores de limpieza, cosmética, biomédica, industria alimentaria, y dado que recientemente han adquirido enorme relevancia para el desarrollo de bioinsumos,

especialmente en el sector hortofrutícola, en el que hay una enorme expectativa de inocuidad para los mercados nacionales especializados y de exportación.

En este documento se presentan elementos conceptuales y procedimentales que demuestran que es posible obtener bioinsumos mediante el uso de equipamiento no especializado y de bajo costo. Los bioinsumos que tienen como ingrediente activo los AE pueden controlar eficientemente diversos problemas sanitarios en cultivos de importancia económica ya que se consideran una alternativa más confiable, efectiva y benéfica para mantener los niveles de producción agrícola bajo las condiciones secas del Caribe colombiano. Este es el caso del frijol, que, cultivado bajo condiciones de sequía, presenta menor tolerancia al daño por plagas y enfermedades. Algunos de los ejemplos utilizados en el documento se enfocan en las especies hortícolas asociadas al frijol y pueden extrapolarse al manejo específico de este cultivo ya que en otros resultaron exitosos contra enfermedades que también afectan al frijol, como es el caso de la antracnosis, producida por *Colletotrichum* spp., de alta incidencia, con pérdidas de hasta 30 % durante épocas lluviosas, y de 100 % en condiciones muy húmedas (Rojas Raya et al., 2018).

Gracias a las ventajas de los AE en términos de baja toxicidad, impacto ambiental y residualidad, la comunidad científica ha abierto un extenso panorama de investigación alrededor de los usos novedosos de las PAMCyA y de la actividad antimicrobiana de los AE (Omar & Kordali, 2019) como alternativa promisoría para disminuir el uso de agrotóxicos.

Por tanto, en este documento se presenta información general acerca de los AE, sus métodos de extracción y sus técnicas de aplicación más relevantes a modo de guía para el estudio y consolidación de insumos orgánicos

¿Qué son los aceites esenciales?

Los AE se obtienen de sustancias constitutivas del vegetal, y forman parte del metabolismo secundario de las plantas aromáticas. Estas sustancias se producen y depositan en conductos excretores como los osmóforos, que producen el olor de las plantas mediante secreción de aceites volátiles, y también dentro de pelos glandulares en los vegetales, que son formas específicas de los tricomas o vellosidades de las hojas.

En general, los AE son responsables de la fragancia vegetal y del aroma característico de ciertas flores, árboles, frutos y semillas. Después de su extracción por cualquier método, forman fracciones generalmente líquidas, volátiles y rara vez sólidas (Tetaping et al., 2017). A nivel químico, están formados por terpenos con actividad, son de composición variable y constituyen mezclas complejas de hasta más de 100 moléculas, principalmente monoterpenos, sesquiterpenos, compuestos alifáticos de bajo peso molecular y fenilpropanos, y tienen una presión de vapor lo suficientemente alta como para alcanzar una volatilización significativa a temperatura ambiente (Tetaping et al., 2017).

¿Qué son las plantas aromáticas, medicinales y condimentarias (PAMC)?

Las PAMC son un grupo grande y diverso de especies botánicas, cada una de ellas con unas características biológicas propias y una adaptación diferenciada a las condiciones ambientales. En los últimos años, ha sido creciente y sostenida la demanda de estas especies y sus productos derivados en los mercados nacional e internacional (Retta et al., 2012).

El sector de las PAMCyA reúne una amplia variedad de especies nativas e introducidas con potencial agroindustrial, reconocidas como un recurso importante a nivel mundial, dado que aportan al desarrollo económico, desde la producción en fresco en el sector agrícola hasta el procesamiento de productos para la industria (Lubbe & Verpoorte, 2011; Kala, 2015).

¿Cuáles son las funciones de los aceites esenciales en las plantas?

Las plantas tienen la capacidad de sintetizar todas las sustancias necesarias para su metabolismo primario y también exhiben un metabolismo secundario que les permite adaptarse a un ambiente cambiante. Los compuestos derivados del metabolismo secundario se denominan “metabolitos secundarios” y se producen a nivel celular, pero se acumulan en distintos tejidos (canales excretores, pelos glandulares) y en los frutos (Martínez et al., 2010). Su actividad en la planta se asocia con la adaptación al entorno, con funciones como inhibición de la germinación de malezas, protección contra microorganismos e insectos, promoción de polinización o acumulación de sustancias de reserva (Servicio Nacional de Aprendizaje [SENA], 2012).

Estos compuestos conforman todo un mecanismo bioquímico de defensa y autorregulación. Son empleados por la planta como estrategia de defensa contra condiciones de estrés causadas por el medio ambiente o por organismos patógenos (estrés biótico y abiótico) (Pérez et al., 2014), sobre todo cuando está expuesta a un ataque de insectos o microorganismos patógenos. Las plantas sintetizan enzimas que degradan la pared celular de los microorganismos o que tienen la capacidad de inactivar tóxicos de origen microbiano (Andrade-Bustamante et al., 2017). Algunos de estos compuestos con efectos sobre el control de microorganismos nocivos para los cultivos son flavonoides, fenoles, glucósidos de fenoles, saponinas, terpenos, alcaloides, lecitinas y polipéptidos (Sartori et al., 2015).

¿Cuál es el mecanismo de acción de los AE en las PAMCyA?

Los aceites esenciales presentan actividad insecticida, antioxidante, antibacteriana, antifúngica y antiviral (Cisterna & Sepúlveda, 2015). Sus mecanismos de acción son variables e incluyen desde la disminución de la capacidad de multiplicación hasta la muerte celular (Andrade-Bustamante et al., 2017). Ejemplos de lo anterior son el eugenol, el timol y el carvacrol; este último es un tipo de fenol que desintegra la

membrana externa de las bacterias patógenas (Usano-Aleman et al., 2014). El modo de acción de los terpenos es un tanto más complejo, y aunque no se ha esclarecido completamente, se afirma que también pueden causar rompimiento de la membrana celular (Díaz-Medina et al., 2019).

Por su parte, los triterpenos pueden operar mediante diversos mecanismos, de acuerdo con sus características químicas, y ocasionan desintegración celular (Andrade-Bustamante et al., 2017). Con respecto a los alcaloides, se ha propuesto que atacan el ADN, lo cual afecta la multiplicación celular. La acción de las lectinas y los polipéptidos involucra tanto daño celular como interferencia de los mecanismos de infección del microorganismo (Andrango-Quisaguano, 2017). Otros compuestos, como los de tipo esteroides, pueden entorpecer algunos procesos de multiplicación de la célula microbiana. Los aceites esenciales también pueden generar un bloqueo de mecanismos de resistencia; entre los más importantes están los inhibidores de β -lactamasas de serina, que incluyen ácido clavulánico, sulbactam y tazobactam.

En conclusión, se puede afirmar que los metabolitos secundarios almacenados en los aceites esenciales de las PAMCyA tienen mecanismos de acción muy diversos (Acosta de Guevara & Molina Castillo, 2019), tal como se muestra en la figura 14.

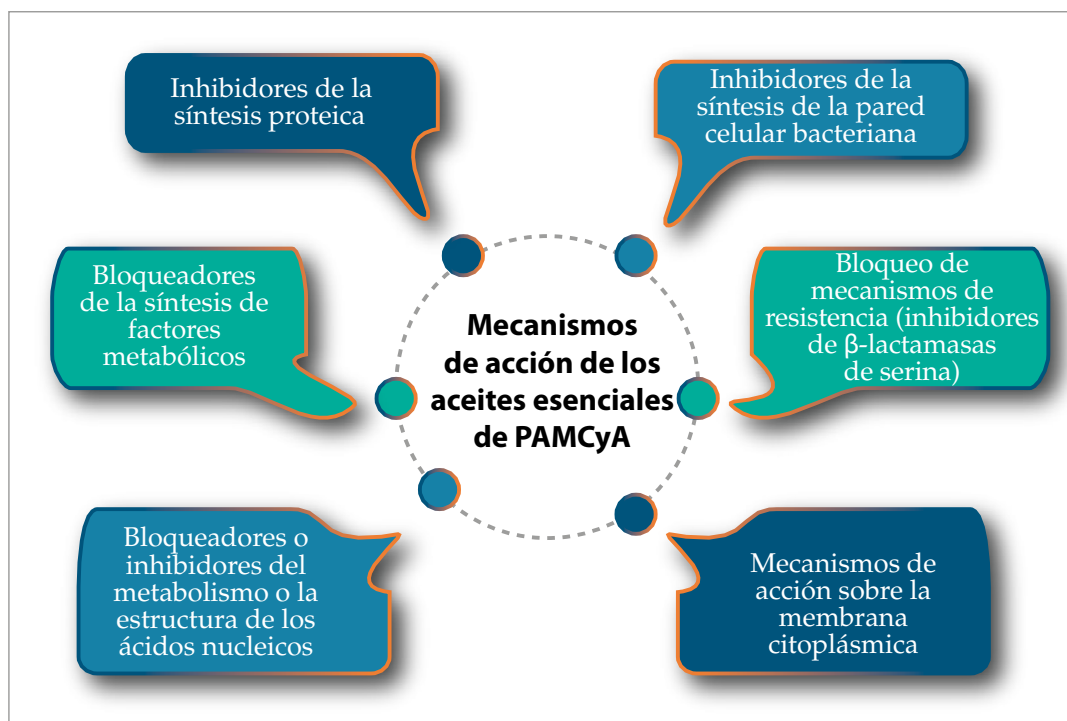


Figura 14. Mecanismos de acción antimicrobiana de los aceites esenciales extraídos de plantas aromáticas, medicinales, condimentarias y afines.

Fuente: Elaboración propia con base en Cisterna y Sepúlveda (2015), Acosta de Guevara y Molina Castillo (2019), Díaz-Medina et al. (2019)

Conocer todos estos mecanismos de acción de los AE tiene una alta relevancia, pues permite realizar una correcta selección del tipo de aceite y metabolito según su actividad biológica específica, para controlar de manera efectiva al microorganismo patógeno objetivo.

¿Cuáles son los métodos de extracción de los aceites esenciales y sus ventajas comparativas?

Resulta pertinente presentar a los productores emprendedores y a los grupos de investigación en formación las ventajas y desventajas de cada método disponible y su impacto en la calidad final del aceite, lo cual restringe o facilita su utilidad final.

De acuerdo con lo anterior, es necesario conocer los fundamentos y las principales características comparativas de los métodos de extracción de los AE. Esta necesidad obedece a que el efecto antimicrobiano de las moléculas con actividad biológica de estos aceites contra microorganismos como *Colletotrichum lindemuthianum* (antracnosis), *Fusarium* spp. (marchitez o amarillamiento), *Macrophomina phaseolina* (pudrición de raíz, secadera), *Xanthomonas axonopodis* (tizón común, bacteriosis común, añublo bacteriano, quema) y *Ralstonia* spp. (marchitez bacteriana), entre otros patógenos de cultivos como el frijol (Acero Godoy et al., 2021), está condicionado por factores ambientales, por el manejo agronómico y principalmente por los métodos de extracción (Mena Rodríguez et al., 2018; Astani et al., 2009), ya que algunos sistemas son más herméticos que otros, permiten o no la mezcla con solventes y emplean menor o mayor temperatura, lo que condiciona la variabilidad en la recuperación de moléculas volátiles (que en su mayoría son las responsables de la actividad biológica). Sin embargo, el método de extracción debe depender del objetivo final trazado para el uso del AE; por tanto, a continuación, se detallan los métodos de extracción más representativos y sus ventajas comparativas.

Generalidades de los métodos de extracción de los aceites esenciales

Los metabolitos secundarios de las plantas pueden obtenerse por diversos métodos, cuya escogencia debe integrarse a la finalidad o aplicación. Como resultado, se pueden obtener extractos acuosos (Vergara Sotomayor et al., 2018), aceites esenciales o una mezcla de ambos (Arango Bedoya et al., 2012; SENA, 2012). Generalmente, se utilizan procesos de destilación, en los cuales se separan por calentamiento estas sustancias volátiles, y luego se temple su vapor para reducirlas nuevamente a líquido (SENA, 2012). Algunas técnicas requieren que el material vegetal se encuentre totalmente sumergido en agua, como en la hidrodestilación (Dangkulwanich & Charaslertrangsi, 2020), y otras requieren usar corrientes de vapor, como en la técnica de destilación por arrastre con vapor (Melo-Guerrero et al., 2020).

En algunas técnicas es necesario emplear sustancias que faciliten separar el aceite de los extractos acuosos, como en la técnica de extracción con solvente, en la cual se usa alcohol o cloroformo (Stevanato & Da Silva, 2019) en contacto con la muestra

previamente seca y molida (Montironi et al., 2016). La extracción por fluido supercrítico se basa en el mismo principio, pero en ella se reemplaza el solvente por un fluido indistinto entre las fases líquida y gaseosa. Esta técnica requiere un alto nivel de presión sobre el solvente, seguido de una sincronización de la temperatura, para que se produzca el empalme de la muestra con el fluido y su posterior separación (Wong Paz et al., 2018).

Existen otras técnicas que no requieren una sustancia o solvente específico; tal es el caso de la extracción asistida por ultrasonido y la extracción por prensado en frío. En la primera se usan ondas ultrasónicas de alta frecuencia para desprender el compuesto objetivo del resto del material vegetal (Wong Paz et al., 2018), y en la segunda se dispone material vegetal sobre prensas de acero inoxidable a 15-25 °C, con presiones de 2.200 psi, para obtener una mezcla aceite-agua, que se separa por centrifugación. (Melo-Guerrero et al., 2020) (figura 15).



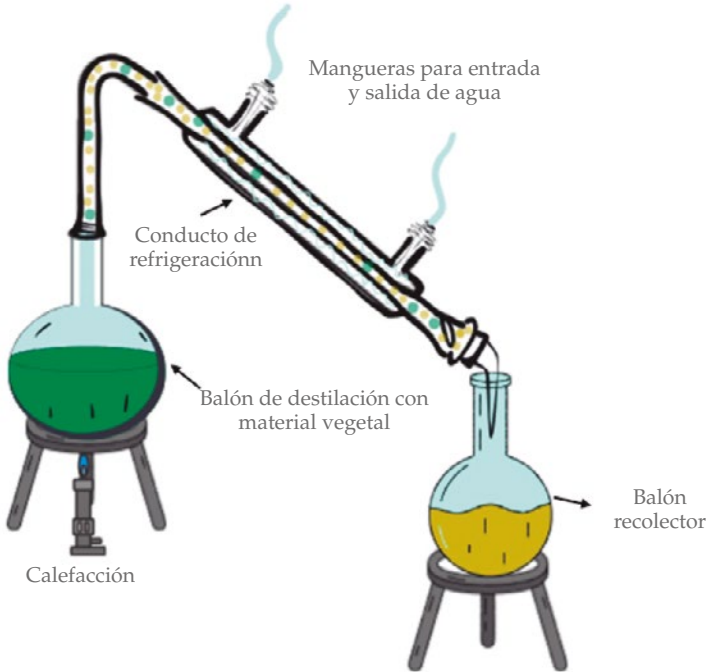
Figura 15. Métodos de extracción de los aceites esenciales.

Fuente: Elaboración propia con base en Wong Paz et al. (2018), Melo-Guerrero et al. (2020), Dangkulwanich y Charaslertrangsi (2020)

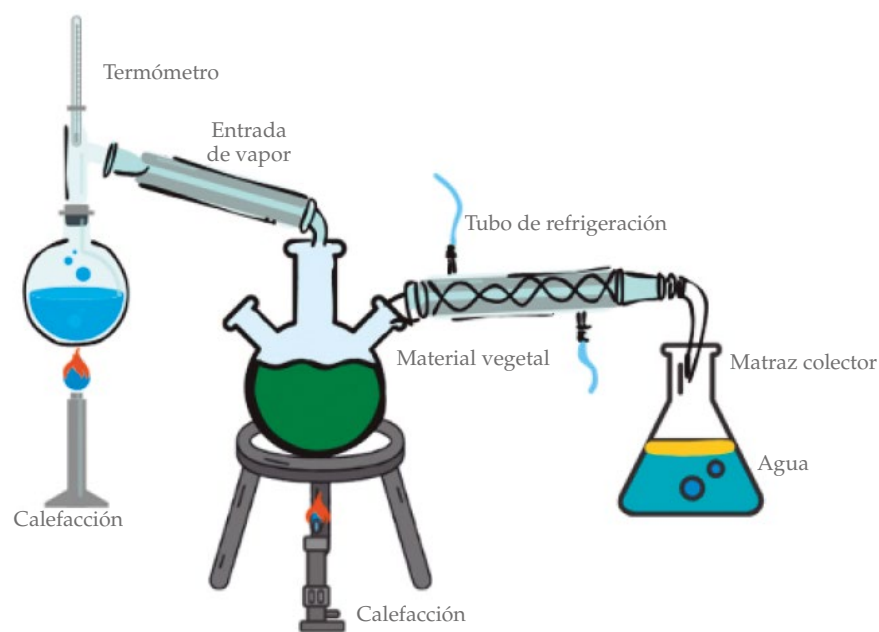
Ventajas y desventajas comparativas de las técnicas de extracción de los aceites esenciales

El siguiente cuadro comparativo (tabla 3) es un resumen de las principales técnicas de extracción de los aceites esenciales y sus ventajas y desventajas comparativas, que ayuda a seleccionar correctamente el método de extracción del AE según el fin para el cual se empleará.

Tabla 3. Cuadro comparativo de las técnicas de extracción de los aceites esenciales: ventajas y desventajas

Hidrodestilación	 Fuente: Adaptado de Vargas (2013)
Ventajas	• Simplicidad y flexibilidad para trabajar con aceites de diferente densidad y naturaleza y posibilidad de aislarlos fácilmente. • Confiabilidad y reproducibilidad de los datos experimentales generados, para ajustarlos a modelos fenomenológicos. • Movilidad y maniobrabilidad. • Capacidad de ser instrumentado, para seguir el proceso internamente. • Implementación de un control automático.
Desventajas	• Incapacidad de usar los resultados obtenidos para un escalado, porque el material vegetal no forma un lecho fijo, sino que permanece en contacto con el agua. • El tiempo de extracción es muy largo y no sirve para establecer el tiempo óptimo de operación a escala industrial. • El equipo requiere el uso de materia prima molida; el flujo del vapor condensado a contracorriente en la columna lleva compuestos hidrosolubles, lo que genera una recirculación indeseable que puede degradar los compuestos y afectar la calidad del aceite. • Depende del flujo de vapor generado con la potencia de la fuente de energía, lo que le resta flexibilidad al control de este parámetro.

Destilación por arrastre con vapor



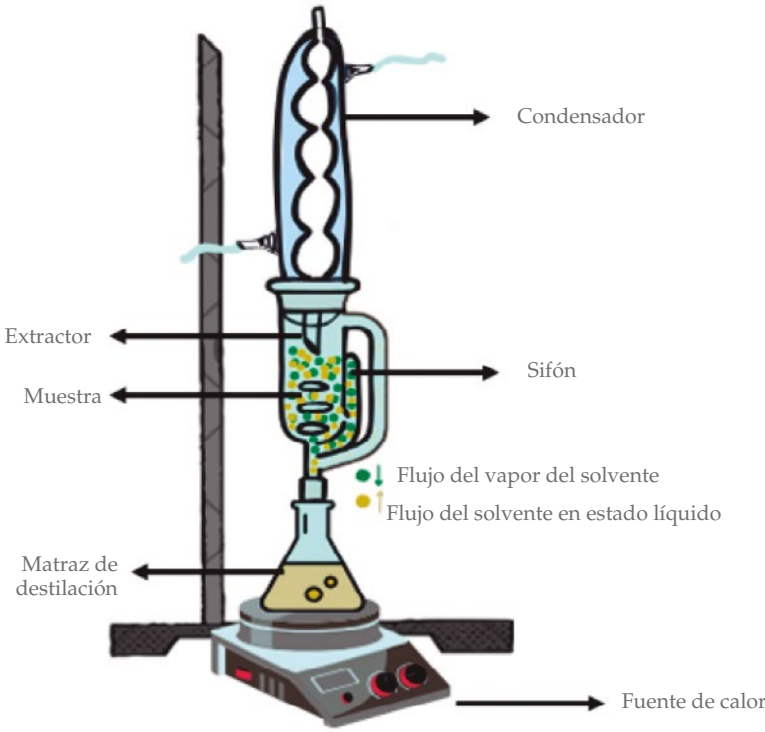
Fuente: Elaboración propia con base en Vargas (2013)

Ventajas

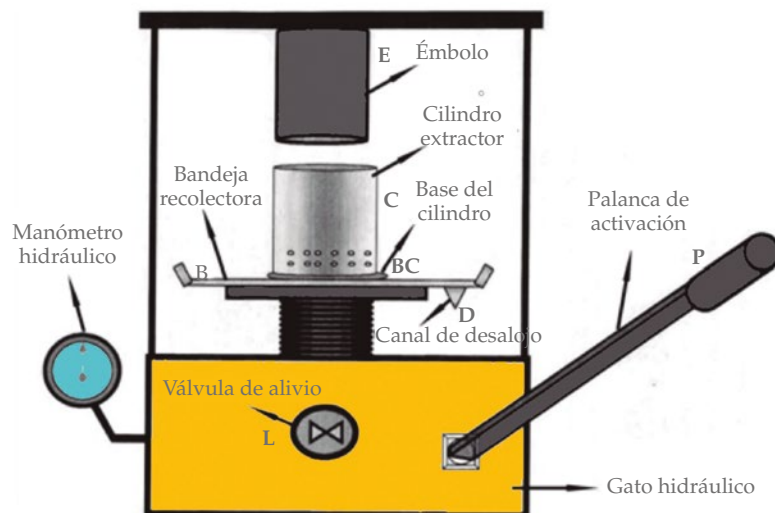
- Solo se emplea vapor de agua para la liberación del aceite contenido entre la cutícula y la pared celular de la hoja.
- Fácil recuperación del compuesto mediante separación de fases, debido a que este se encuentra en una fase orgánica.
- En caso de aumento de temperatura, no genera inconvenientes, solo se debe considerar la presión atmosférica.

Desventajas

- Pueden presentarse remanentes oleosos en las hojas, por causa de una extracción incompleta.
- El vapor generado en el primer sistema se debe condensar en un segundo sistema, lo que produce pérdida de energía calorífica y prolonga el tiempo de extracción.
- El calor generado por el vapor condensado no es uniforme, lo que hace que la difusión del vapor sea lenta y solo se logre una extracción superficial del aceite de las hojas.

Extracción con disolventes	 Fuente: Elaboración propia con base en Stashenko et al. (2014)
Ventajas	• Rápido, seguro y no necesita filtrado.
Desventajas	• Se obtienen extractos más oscuros, debido a que el disolvente también extrae diversos pigmentos de las flores que se evitan en la destilación. • Los AE presentan una menor solubilidad en el alcohol diluido. • Las instalaciones resultan más costosas y siempre existe el problema de las pérdidas de disolvente y de su manejo durante el proceso. • Posible degradación de los analitos termolábiles.

Extracción por prensado en frío



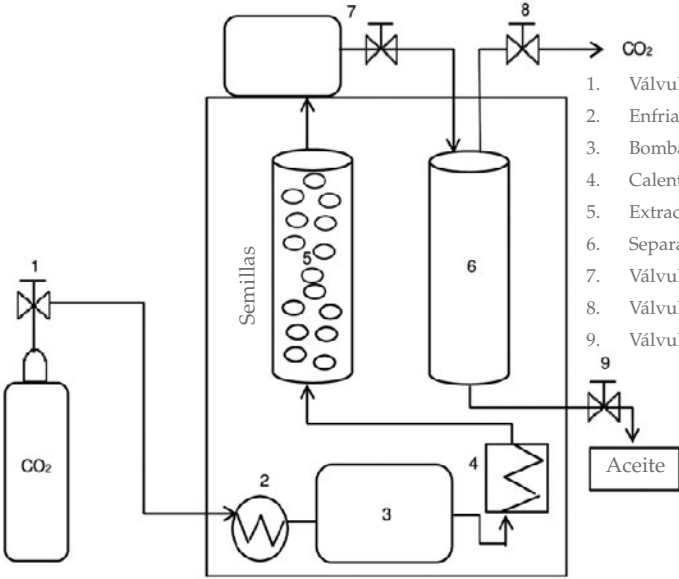
Fuente: Elaboración propia con base en Hernández y Mieres-Pitre (2005)

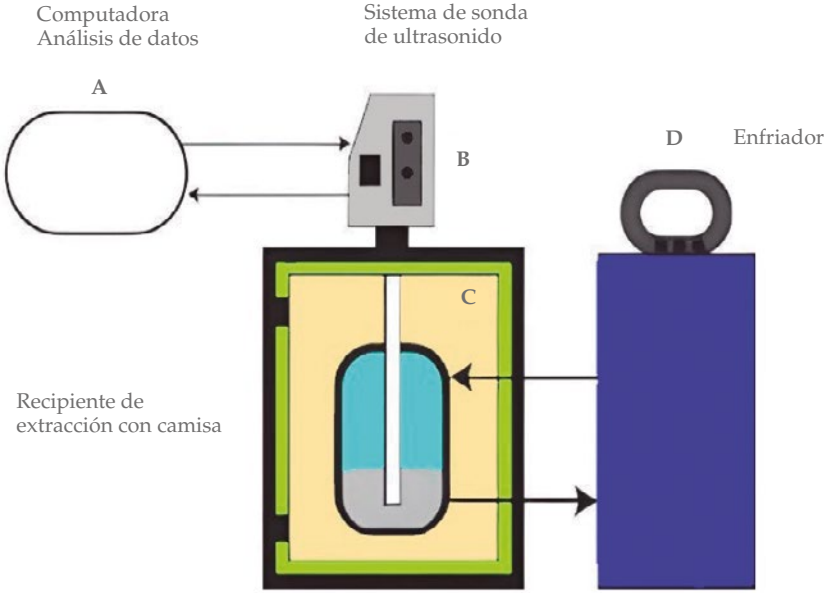
Ventajas

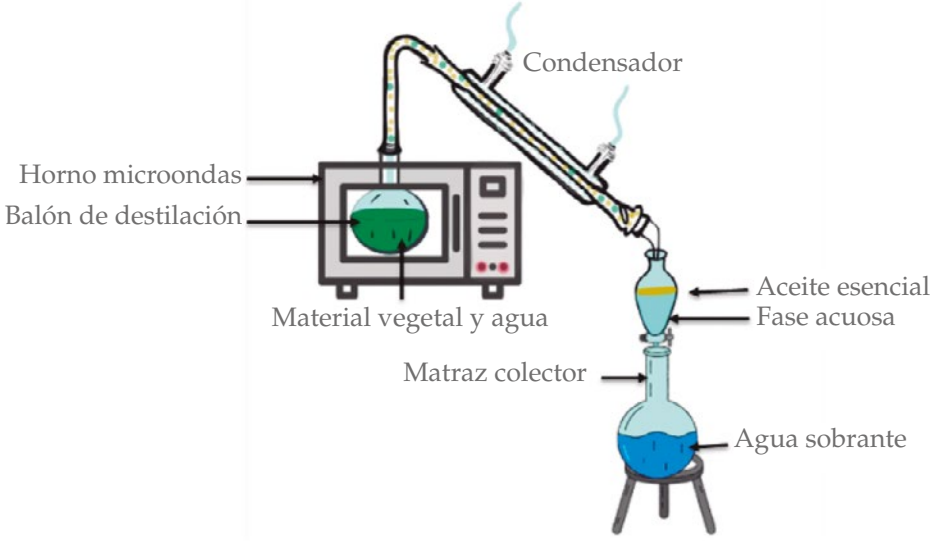
- Costo moderado de inversión.
- Maquinas fiables y de funcionamiento sencillo.
- No es necesario el gasto de agua.
- Proceso mecánico libre de químicos, usado con frecuencia para semillas y nueces.
- Alternativa viable para pequeños y medianos productores, generalmente para lograr altos volúmenes de producción y productividad.

Desventajas

- Proceso discontinuo.
- Menor velocidad de procesos.
- Necesita mucho espacio.
- Necesita gran cantidad de mano de obra.
- La temperatura debe graduarse externamente ya que puede cambiar según el lugar donde se realice el experimento, lo que genera variabilidad en los resultados.

Extracción por fluido supercrítico	 1. Válvula de CO₂ 2. Enfriador 3. Bomba de CO₂ 4. Calentador 5. Extractor 6. Separador 7. Válvula de control de presión automática 8. Válvulas manuales de control de presión 9. Válvulas de salida Fuente: Elaboración propia con base en Pantoja-Chamorro et al. (2017)
Ventajas	• Se produce un AE de alta calidad, no contaminado con sustancias extrañas, ya que el disolvente de extracción, generalmente anhídrido carbónico, se evapora totalmente sin dejar trazas en el producto final; además, el aceite es inodoro y no es tóxico ni inflamable. • Genera solventes de baja viscosidad, altas tasas de difusión y sin tensión superficial. • Rápido, seguro, de alta selectividad y no necesita filtrado.
Desventajas	• No es un método fácil de llevar a la práctica, tampoco es el de mejor rendimiento. • El equipo de trabajo tiene un alto costo debido a que debe soportar altas presiones y bajas temperaturas; a esto se suman los costos de instalación, mantenimiento y operación. • La viscosidad de los aceites puede ser alta debido a la extracción adicional de ceras, pigmentos y otros componentes presentes en el material vegetal. • Inevitables pérdidas del flujo de extracción por evaporación. • Muchos parámetros para optimizar.

Extracción asistida por ultrasonido	 Computadora Análisis de datos Sistema de sonda de ultrasonido A B D Enfriador Recipiente de extracción con camisa C Fuente: Elaboración propia con base en Corona-Jiménez et al. (2016)
Ventajas	• Más eficiente que la extracción por solvente y por destilación. • Se recupera un mayor porcentaje de isoflavonas según el tipo de solvente empleado. • Las sustancias expuestas a sonicación en presencia de surfactantes aumentan la eficiencia y disminuyen el consumo de solvente en comparación con la extracción por solvente sin sonicar. • Es una técnica económica y de bajos requerimientos si se compara con la extracción asistida por microondas; además, es de fácil manejo, segura y requiere un uso moderado de solvente.
Desventajas	• Paso de filtración requerido, posible degradación de los metabolitos a altas frecuencias.

Destilación por radiación microondas	 Diagrama de un sistema de destilación por radiación microondas. El equipo incluye un horno microondas, un balón de destilación, un condensador, un matraz colector y un recipiente para el agua sobrante. El proceso muestra la extracción de aceite esencial a partir de material vegetal y agua.
Ventajas	Fuente: Elaboración propia con base en Kusuma et al. (2017) • Es una técnica rápida, de bajo consumo energético, cuyo montaje de equipo es fácil y rápido, con uso moderado de solvente. • La extracción es rápida y completa, gracias a que las microondas entran en contacto con las moléculas de agua de la hoja, formando vapor para arrastrar el aceite contenido en la epidermis. • El tamaño de las hojas no es un limitante, porque hay mayor contacto del vapor en la superficie de la hoja. • Al emplear microondas en los sistemas, se acelera la generación de vapor en el sistema (agua-hoja), lo que permite que la difusión sea rápida.
Desventajas	• Puede ser deficiente cuando los componentes son no polares o muy volátiles; tiene riesgo de explosión (el solvente puede absorber la energía de microondas), es costosa y requiere el paso de filtración. • Se emplea para experimentación a nivel laboratorio, pero no a nivel industrial.

Fuente: Elaboración propia con base en Lipa Huamaní (2014), Durán Barón y Villa (2014), Corona-Jiménez et al. (2016), Kusuma et al. (2017), Pantoja-Chamorro et al. (2017), Yucra Rojas y Tórrez (2020)

Principales técnicas de evaluación de aceites esenciales en ensayos de laboratorio

La evidencia indica que los aceites esenciales de las plantas aromáticas de *L. alba* y *C. citratus* afectan el funcionamiento celular en mamíferos (efectos antígenotóxicos), por lo cual pueden utilizarse de manera segura como controladores sanitarios en la pre- y postcosecha de hortalizas. Sin embargo, dada la diversidad biológica asociada a las plagas y enfermedades que atacan a las hortalizas, es necesario evaluar las características específicas de cada patógeno y plaga objetivo, para decidir la técnica que se empleará en las evaluaciones de efectividad controladora de los AE (Ortega Cuadros et al., 2020b). A partir de ese criterio, se espera que el efecto más adecuado sea el control directo por contacto o por los componentes volátiles. Se pueden emplear múltiples técnicas basadas en estas dos categorías, que deben seleccionarse de acuerdo con el conocimiento del ciclo de vida, del momento en que se produce el daño en los cultivos y de su límite. Por ejemplo, si el daño más significativo se da en floración, el control del insecto debe realizarse en la etapa anterior a su llegada a los botones florales. Por el contrario, en el caso de los patógenos del suelo, el control debe iniciarse en la zona basal del vegetal si el inóculo se extiende desde el salpique del suelo hasta las hojas bajas y de ahí a otras zonas de la planta.

A continuación, se presentan las consideraciones para tener en cuenta al aplicar las diferentes técnicas de evaluación de la actividad biológica del AE sobre diferentes organismos causantes de daño sanitario en hortalizas y otras especies de rotación con hortalizas. Algunas de estas técnicas son la evaluación del efecto por contacto, difusión, dilución, aspersión, impregnación, tópico y por efecto del vapor, que involucra los efectos repelente y fumigante. Cada uno de estos modos y técnicas de aplicación se describe de manera concisa en el presente capítulo, a fin de permitir su reproducibilidad por parte de semilleros o grupos de investigación en formación que deseen evaluar la eficacia de la actividad biológica de los AE, con el propósito de avanzar en el desarrollo local de nuevos bioinsumos para el control sanitario sostenible de hortalizas y leguminosas de importancia económica como el frijol. Cabe resaltar que estos protocolos se validaron en condiciones de laboratorio de baja complejidad para facilitar la reproducibilidad de sus resultados.

Técnicas de aplicación de los aceites esenciales

Los AE se pueden evaluar mediante diversas técnicas y modos de aplicación. Cabe mencionar las técnicas por contacto (difusión, dilución, aspersión, impregnación o tópico) y por efecto volátil (repelencia, vaporización, confinamiento o liberación sostenida).

Técnicas por difusión

Estas técnicas son cualitativas; sus resultados se interpretan como “sensibles”, “intermedios” o “resistentes”, y se expresan como “concentración mínima inhibitoria (CMI)” para el caso de los hongos, y “concentración mínima bactericida (CMB)” para el caso de las bacterias. Su método se basa en la inhibición del crecimiento bacteriano mediante la difusión de las sustancias activas en un medio sólido. Posteriormente, se evalúa la actividad inhibitoria de los aceites mediante la observación de los halos de inhibición que ocasiona su actividad biológica (Ochoa Pumaylle et al., 2012; Li & Yu, 2015) (figura 16).

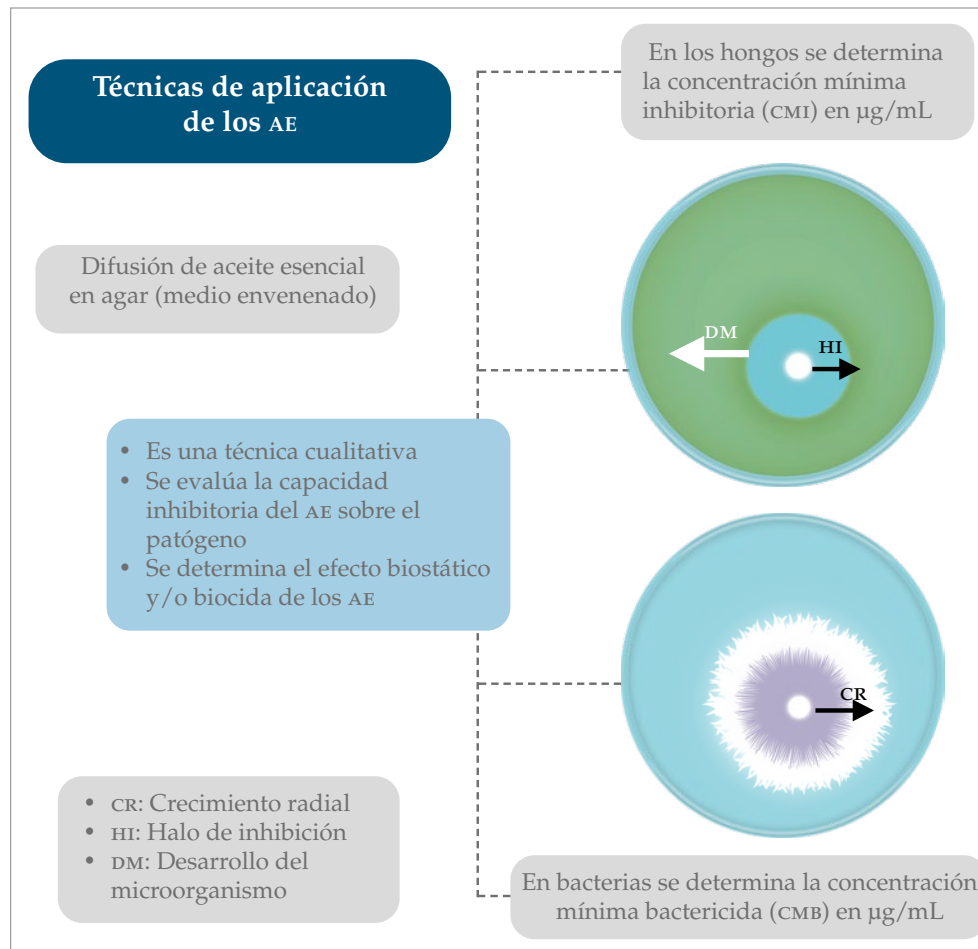


Figura 16. Técnicas de aplicación de los aceites esenciales: difusión de los aceites en agar para el control de hongos miceliales y bacterias.

Fuente: Elaboración propia con base en Ochoa Pumaylle et al. (2012), Melo et al. (2015), Li y Yu (2015)

Difusión en agar, ejemplo práctico con hongos miceliales: Método denominado “medio envenenado” o “Kirby-Bauer modificado” (Melo et al., 2015; Li & Yu, 2015), empleado originalmente para determinar la sensibilidad de un agente microbiano frente a un antibiótico. En este caso, el antibiótico se reemplaza por aceite esencial, y en lugar de usar sensidiscos con la sustancia, esta última se adiciona directamente al agar en una concentración conocida (Ochoa Pumaylle et al., 2012) (figura 17).

En esta técnica, el medio envenenado se prepara mediante concentraciones conocidas ($\mu\text{g/mL}$) del AE, que se añaden al agar de papa y dextrosa (PDA) fundido (tibio) y estéril; luego la mezcla se sirve en placas de Petri en dosis de 25 mL aproximadamente. Esta técnica permite medir la CMI del aceite, que es considerada la concentración más baja en $\mu\text{g/mL}$ de un aceite para que inhiba en un 100 % el crecimiento de un microorganismo. La CMI se calcula con la medición del crecimiento radial del micelio en los hongos y con una curva de calibración hecha en el programa Excel, la cual permite estimar la concentración del aceite que anula el crecimiento total del patógeno (Gaviria et al., 2013; Bedoya Serna et al., 2018).

En la técnica de difusión, la evaluación de diferentes concentraciones del AE permite observar la disminución del crecimiento radial del patógeno a medida que aumenta la dosis evaluada. Resultados similares se observan cuando se evalúa la inhibición de las estructuras de diseminación de la enfermedad (esporas) y el cese de formación de biomasa (hifas) (figura 17), dado que la técnica permite medir por cámara de Neubauer y por densidad óptica el desarrollo de esporas e hifas.

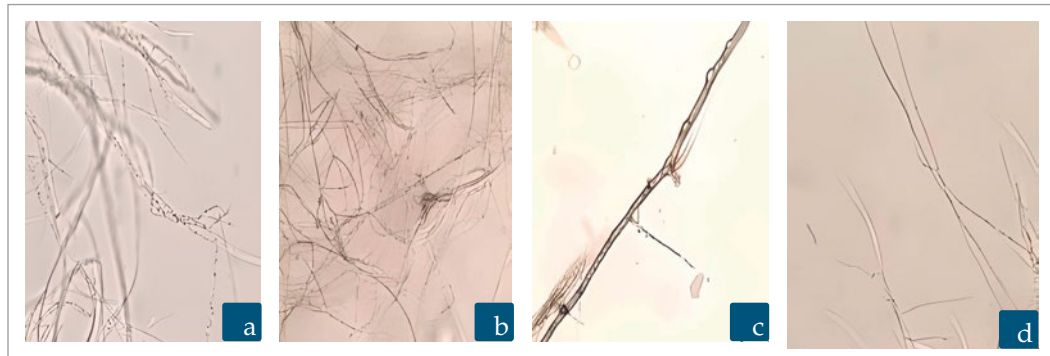


Fotos: Clorismar Castro

Figura 17. Determinación de la CMI del AE de *C. citratus* en el control de *Aspergillus niger* y *Fusarium* spp. En la aplicación del AE por difusión se evaluaron diferentes concentraciones, que permitieron la inhibición del desarrollo de estructuras de reproducción. a. Ensayo 1, de izquierda a derecha: 100, 500, 1.000 ppm y control; b. Ensayo 2, de izquierda a derecha: control, 2.500 ppm por duplicado y 3.000 ppm por duplicado.

Test óptico: Prueba rápida que evalúa de manera simultánea diferentes tipos de aceites, concentraciones y quimiotipos frente a uno o varios patógenos. Usa microscopía directa para analizar el efecto antimicrobiano del aceite empleado. En una lámina portaobjetos se pone una pequeña porción del micelio del hongo fitopatógeno, se adiciona una gota de AE, se cubre la lámina y se observa en el microscopio el inicio de la prueba y cada hora hasta registrar variaciones.

Esta prueba revela los cambios físicos del microorganismo evaluado. La mortalidad ocasionada por el AE se evidencia cuando aparecen daños a nivel celular (figura 18). Con una prueba confirmatoria se evalúa el efecto de inhibición en el crecimiento y multiplicación de las estructuras infectivas en los hongos (efecto biostático). Por esto, se inocula el micelio expuesto al aceite en un agar selectivo y se observa si se detiene o no el crecimiento del microorganismo.



Fotos: Glorimar Castro

Figura 18. Efecto biocida del AE de *C. citratus* y alteraciones celulares en *C. gloeosporioides*. a. Transcurrida una hora; b. Transcurridas dos horas; c. Transcurridas tres horas; d. En comparación con el control.

Difusión en agar, ejemplo práctico con bacterias: Método denominado “difusión en agar” o Kirby-Bauer, descrito por Velásquez et al. (2014) y Li y Yu (2015), para determinar la sensibilidad de un agente microbiano (*Escherichia coli*) frente al AE de *C. citratus*. Se impregnan sensidiscos con una concentración conocida del aceite y se ubican en placas de agar. Las lecturas de los resultados se efectúan por medición de los halos de inhibición que genera el aceite en los discos de papel (figura 19).



Fotos: Glorimar Castro

Figura 19. Resultado de diferentes concentraciones de AE. a. Aceite de *Cymbopogon martinii*; b. Aceite de *C. citratus* para inhibición de *E. coli*.

Técnicas por dilución

Estos métodos determinan el crecimiento del microorganismo en presencia de concentraciones crecientes del antimicrobiano, el cual se encuentra diluido en el medio de cultivo (caldo o agar) (Pérez & Rivas, 2021) (figura 20).

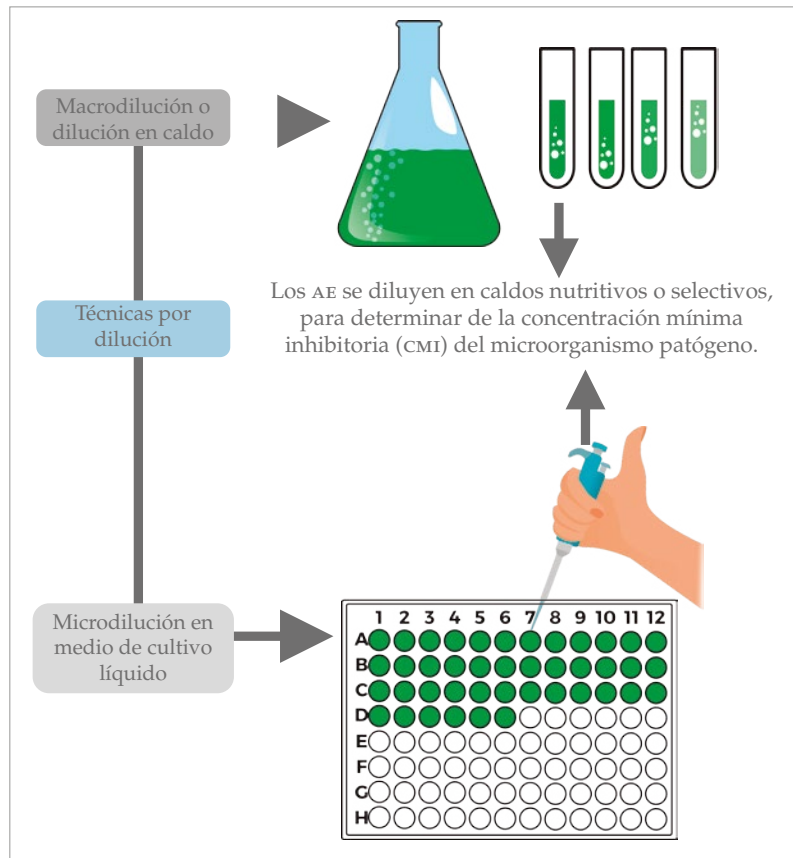


Figura 20. Esquema de técnicas por dilución de los AE.

Fuente: Elaboración propia con base en Rocha Pribul et al. (2016), Pérez y Rivas (2021)

Macrodilución o dilución en caldo: Esta metodología emplea tubos de ensayo con bacterias en 10 mL de caldo de cultivo con un rango determinado de antimicrobiano. Es un método de poco uso en el laboratorio para el trabajo con AE, dada la cantidad de material y de manipulaciones que requiere. Se opta, por tanto, por describir a profundidad el siguiente método como alternativa de reemplazo, cuyo funcionamiento es similar, pero requiere menos materiales.

*Microdilución en medio de cultivo líquido, ejemplo práctico con hongos miceliales (*Colletotrichum gloeosporioides*):* Esta metodología modifica el protocolo establecido por Rocha Pribul et al. (2016) para determinar la CMI por medio de una dilución en microplacas con pozos de 100 μ L de capacidad. Se adiciona una cantidad conocida de AE diluida en medio líquido y el microorganismo patógeno identificado previamente (microdilución en caldo). En el caso de bacterias, el medio de cultivo debe ser transparente para visualizar

mejor el crecimiento. El rango de incubación es de 37 °C, con un periodo de 24 a 48 horas; después de este tiempo se define la CMI como la concentración más baja del AE que inhibe el crecimiento visible. En ambos casos no se deben probar dos tipos de AE de manera simultánea, ya que los vapores pueden interferir en ambos resultados.

Como ejemplo práctico para el control de *C. gloeosporioides*, se ofrece el esquema de la figura 21 a manera de guía para efectuar el montaje. En los pozos de las filas A, B, G y H, se agregan 25 µL del inóculo con una concentración conocida del patógeno. Para este caso, las cantidades son de 1×10^6 UFC/mL, 50 µL de caldo de papa y 25 µL del AE en las concentraciones de 500, 700, 1.000, 1.500, 2.000, 2.500 y 3.000, con triplicados a doble ensayo para un mejor aprovechamiento de la placa.

	Concentraciones del AE en µg/mL											
AE	500	700	1.000	1.500								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>L. alba</i>	A											
<i>L. alba</i>	B											
	C											
Control de positivo	D											
Control de esterilidad	E											
	F											
<i>L. alba</i>	G											
<i>L. alba</i>	H											
AE	2.000	2.500	3.000	3.500								
	Concentraciones del AE en µg/mL											

Figura 21. Esquema de microdilución en caldo con aceite esencial de *L. alba* para el cálculo de la CMI de *C. gloeosporioides*.
Fuente: Elaboración propia

Técnicas por aspersión

Es una técnica que permite distribuir de forma aérea gotas muy finas y uniformes, para una aplicación controlada y dosificada de ciertas sustancias. En la figura 22 se detalla la metodología para evaluar la actividad insecticida del AE de *C. citratus* contra la hormiga arriera (*Atta cephalotes*). Es una modificación del protocolo establecido por Pelizza et al. (2017), en la que se asperja el aceite en concentraciones de 1.000 y 3.000 µg/mL (ppm) sobre una población de diez hormigas, en un área establecida para determinar el porcentaje de mortalidad del insecto.

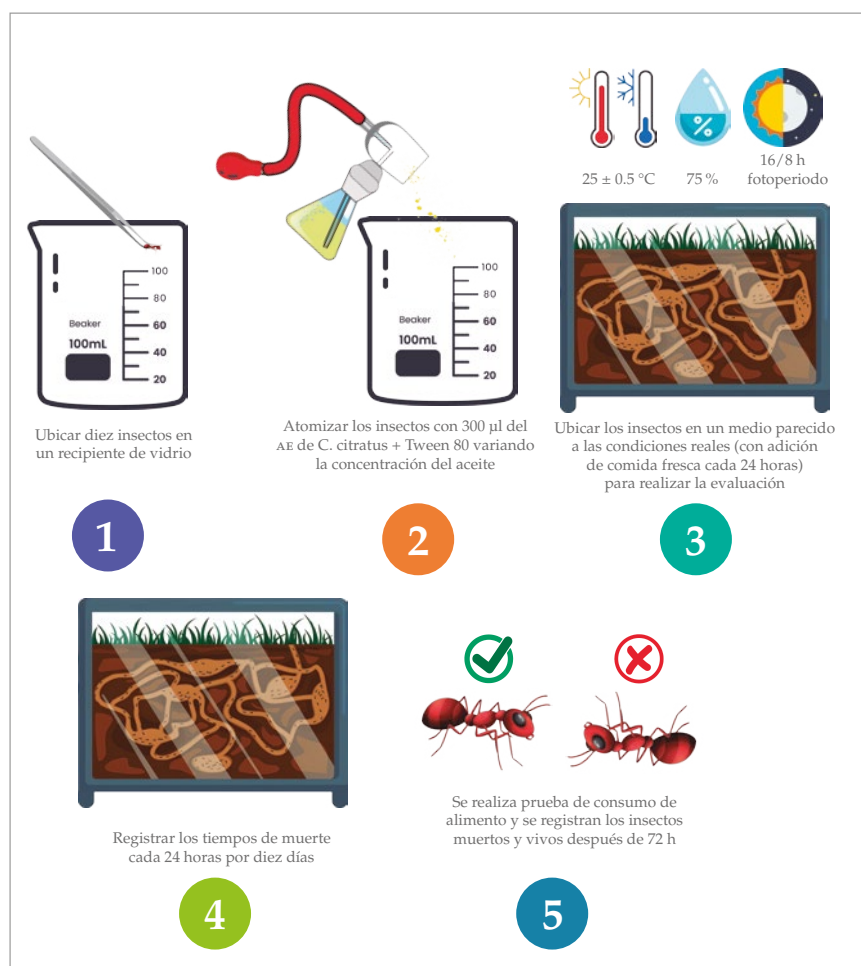


Figura 22. Protocolo de aspersión de AE de *C. citratus* para el control *in vitro* de la hormiga arriera (*A. cephalotes*).
Fuente: Elaboración propia

Esta técnica es de amplia relevancia porque permite extrapolar a campo los resultados obtenidos a nivel de laboratorio en insectos plaga de importancia en los cultivos de frijol, como *Sitona lineatus*, *Megalurothrips usitatus*, *Aphis fabae*, *Bruchus rufimanus*, entre otros.

Técnica por impregnación o tópica

Es una técnica que permite hacer análisis de efecto por contacto de sustancias sobre organismos de interés, ya que requiere la disposición tópica en ciertas regiones del organismo para evaluar toxicidad, la cual depende del grado de absorción cutánea (Peixoto et al., 2015; Pazinato et al., 2016). Con esta técnica se busca medir la propiedad que tienen los AE de dañar o matar un organismo, mediante diferentes ensayos, cuyos resultados se pueden expresar como DL50 (dosis letal de 50 % o dosis letal para 50 % de la población), CL50 (concentración letal media de la sustancia en la cual mueren 50 % de los organismos en un periodo de exposición determinado), DLM (la dosis letal mínima o dosis más baja en la que una sustancia administrada produce la muerte de un individuo) (Uc-Peraza et al., 2012).

Impregnación por papel filtro, ejemplo práctico con gorgojo castaño de la harina (Tribolium castaneum): En esta metodología se sigue el protocolo establecido por Peixoto et al. (2015) y se aplican modificaciones para determinar el efecto antimicrobiano en insectos de *T. castaneum* expuestos al AE de *C. citratus*, tal como se muestra en la figura 23.

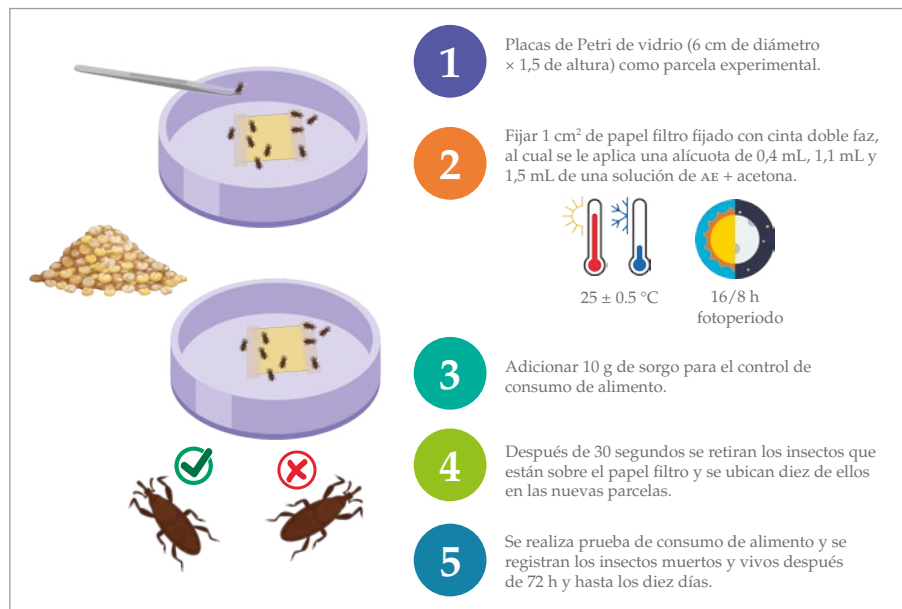


Figura 23. Impregnación por papel filtro: ejemplo práctico con *T. castaneum* o gorgojo castaño de la harina.
Fuente: Elaboración propia

Los resultados de este ensayo se presentan en la figura 24, en la cual se contabilizan los insectos vivos (presentaban movilidad) y muertos (detenimiento de alimentación y pérdida de movilidad) después del periodo de evaluación. Así, en el tratamiento n.º 1, repeticiones A, B y C, se observó un promedio de 6,6 insectos muertos de un total de diez evaluados con una dosis de 65 µL de AE, lo que indica una tasa de mortalidad elevada (figura 24).

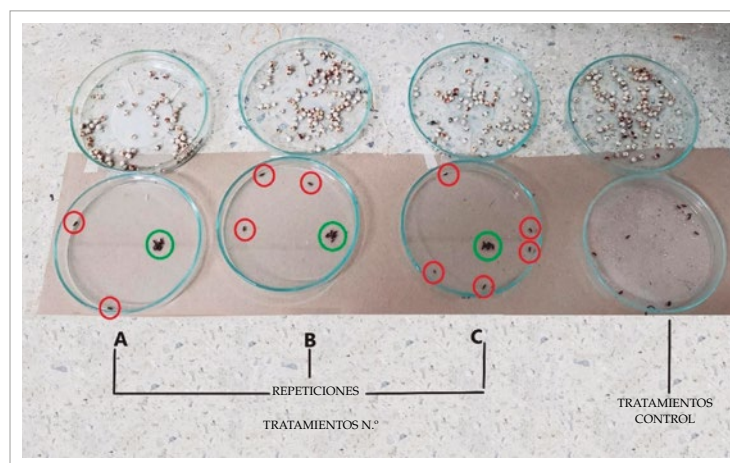


Foto: Glorimar Castro

Figura 24. Esquema de las parcelas con aplicación del AE de *C. citratus*.
Fuente: Elaboración propia

En la figura 24, los insectos muertos se encuentran en los círculos verdes, y los insectos vivos se ubican en los círculos rojos. De izquierda a derecha, se observa la placa n.º 1 (repetición A) con ocho insectos muertos; la placa n.º 2 (repetición B) con siete insectos muertos; la placa n.º 3 (repetición C) con cinco insectos muertos y la placa n.º 4 (tratamiento control) sin adición de AE con todos los insectos vivos.

*Toxicidad por uso tópico del AE, ejemplo práctico con gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*):* Esta metodología modifica el protocolo establecido por Niculau et al. (2013) para determinar la toxicidad del AE sobre las larvas de *S. frugiperda*, mediante aplicación tópica del aceite de *C. citratus* y la posterior separación de los individuos para dar inicio al ensayo sin riesgo de canibalismo, según se muestra en la figura 25.

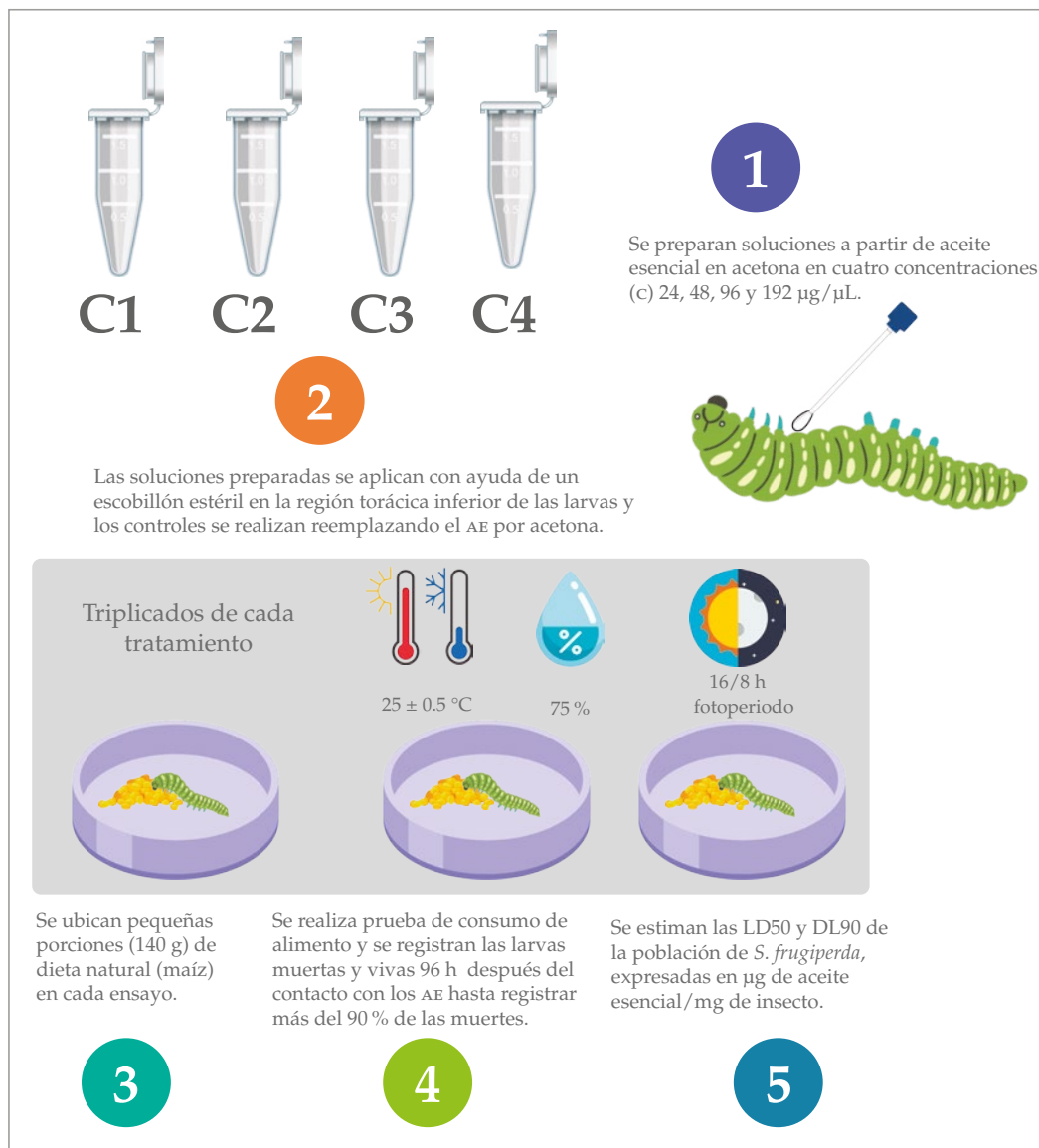


Figura 25. Toxicidad por uso tópico del AE: ejemplo práctico con el gusano cogollero *S. frugiperda*.

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de implementar esta técnica muestran que el rango de respuesta cercano a 0 % de las muertes se obtiene con la concentración de 48 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$, y el rango de respuesta cercano a 100 %, con la concentración de 192 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$. En cuanto a las estimaciones de LD50, fueron necesarias dosis de 96 a 130 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$. Estos resultados demuestran la pertinencia de darles continuidad a los estudios relacionados con organismos de mayor tamaño, por encima de los que usan insectos pequeños (figura 26).



Figura 26. Aplicación tópica del AE. a. *S. frugiperda*; b. Ubicación de las larvas por separado para evitar canibalismo.

Técnicas de efecto volátil: repelencia y acción fumigante

El control de plagas en precosecha, postcosecha, y almacenamiento es de especial relevancia dado al nivel de pérdidas que los artrópodos ocasionan en los productos alimenticios. Con respecto a los granos almacenados, se ha registrado el efecto insecticida de contacto, repelente y fumigante de los AE de *Peumus boldus*, *L. alba* y *C. citratus* sobre los gorgojos del maíz (*Sitophilus zeamais*) y del fríjol (*Acanthoscelides obtectus*).

Para establecer esta metodología es importante indicar que la repelencia corresponde a una respuesta disuasiva y a distancia, en la que la plaga disminuye la selección del material como alimento, refugio o sitio de oviposición, y actúa de forma contraria a como lo hace el efecto fumigante derivado de la toxicidad del AE sobre el insecto plaga (Ortiz et al., 2017). En este sentido, como las técnicas por repelencia consisten en generar sensaciones desagradables en los terminales sensitivos de los organismos y producir un bloqueo en su percepción química (Olivero Verbel et al., 2013), se plantea la metodología de vaporización en cama de vidrio (figura 27), según lo descrito por Castillo et al. (2017).

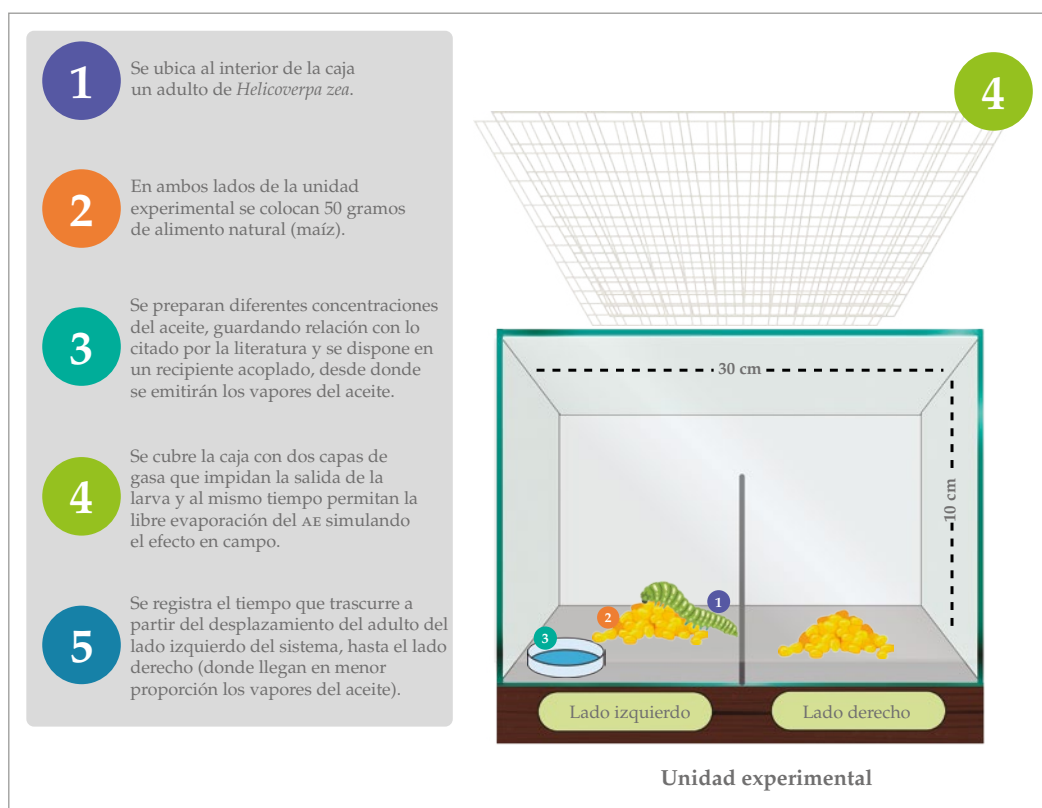


Figura 27. Efecto repelente de los AE de *C. citratus* por vaporización: ejemplo práctico con *Helicoverpa zea*.
Fuente: Elaboración propia

Los resultados de este ensayo muestran el efecto repelente del AE de *C. citratus* frente a adultos del gusano elotero (*Helicoverpa zea*). En las tres repeticiones se sucedieron desplazamientos de 7 a 9 cm durante los primeros diez minutos del ensayo y se detuvo el consumo de alimento hasta por 24 horas (figura 28).

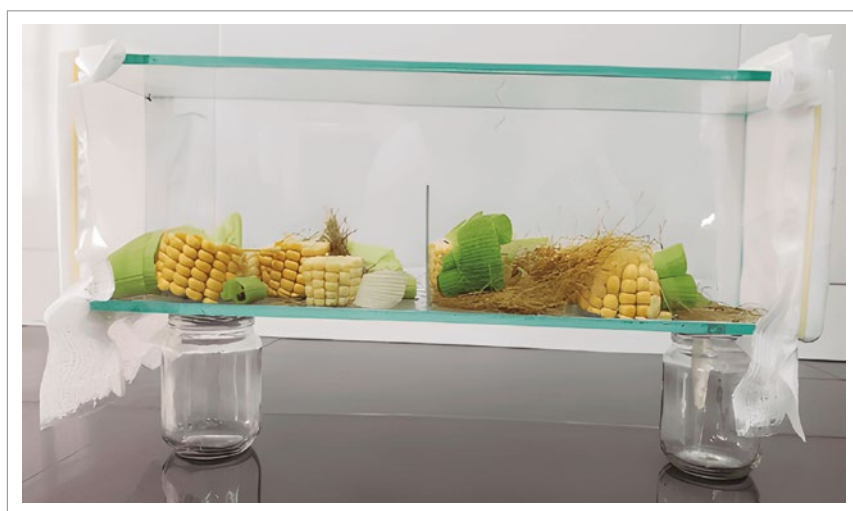


Foto: Glorimar Castro

Figura 28. Cámara con ensayo del efecto repelente de diferentes concentraciones del AE de *C. citratus* sobre adultos de *H. zea*.

Técnica por efecto fumigante/volátil

El efecto fumigante o insecticida de los AE de una amplia variedad de especies vegetales se ha reportado en casi todos los taxones de insectos plaga (Ortega Cuadros et al., 2020b). Es así como los AE han mostrado un efectivo poder insecticida sobre el pulgón negro del fríjol (*A. fabae*) en condiciones controladas, al aplicarse en las flores y el tallo de las plantas. Sin embargo, el efecto fumigante sobre insectos se puede obtener por aplicación directa del AE o mediante los componentes volátiles. En fríjol también se verificó la importancia del control fungistático volátil de los AE de *C. citratus* y *L. alba* sobre *Botrytis cinerea*, causante de la mancha del fríjol.

Estas técnicas de evaluación del efecto volátil exigen que el organismo blanco no esté en contacto con el aceite esencial. En este sentido, pueden utilizarse algunas variantes en la caja de Petri, como ubicar discos de papel filtro en un extremo y sobre el medio de cultivo en el cual se aplica el aceite puro (Carrillo et al., 2010).

El efecto fumigante/volatil de los AE también puede aprovecharse por un periodo extendido cuando se utilizan matrices de liberación controlada, como matrices lipídicas o quitosano, que incrementan la eficiencia de los AC y facilitan sus aplicaciones comerciales y su uso en escenarios agrícolas (Ferrándiz García, 2015).

Técnica por encapsulación de aceite esencial en matrices poliméricas de quitosano

Los soportes elaborados mediante encapsulación del AE en quitosano para ensayar formulaciones de liberación sostenida, se llevan a cabo con la técnica modificada quitosano-agar descrita por Tofiño-Rivera et al. (2020), en la que el quitosano se entrecruza con agar-agar y aceite (figura 29).

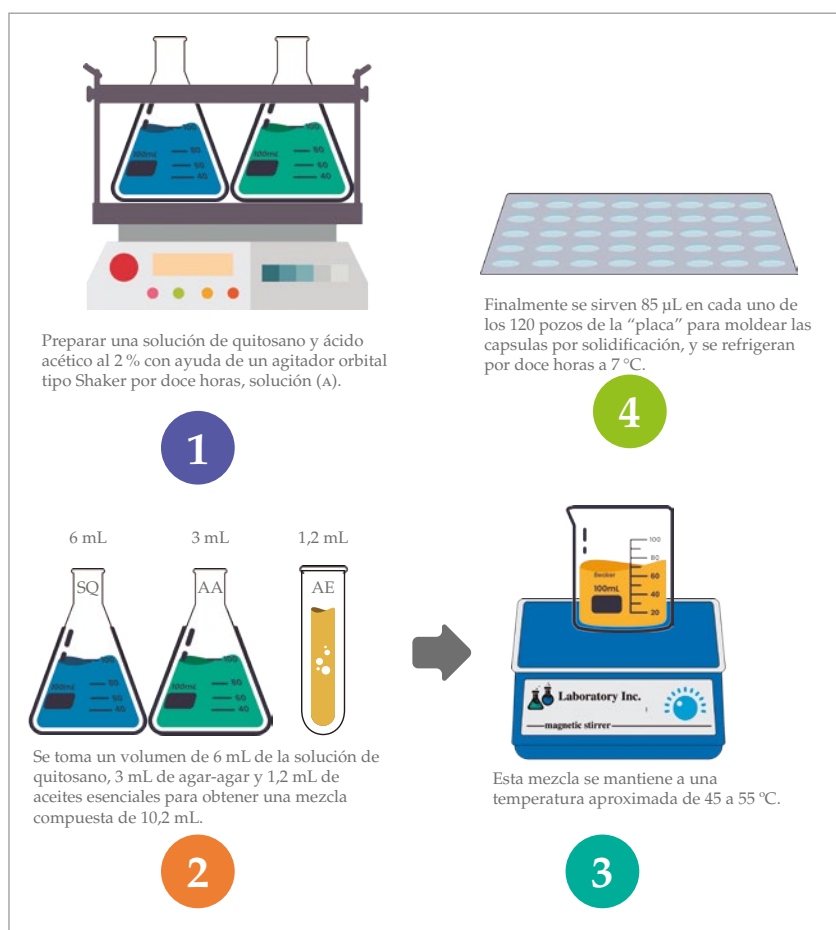


Figura 29. Protocolo de encapsulación de AE en matrices poliméricas de quitosano.

Fuente: Elaboración propia

Los sistemas de liberación sostenida o controlada permiten la disponibilidad de los ingredientes activos del AE en un medio específico, con la velocidad y duración deseadas. La tecnología de liberación sostenida más utilizada, debido a su versatilidad y bajo costo, es la encapsulación de los principios activos en matrices poliméricas como quitosano, alginato, glicerol, etc., las cuales presentan propiedades de barrera frente a humedad, oxígeno, migración de solutos, y propiedades mecánicas como resistencia a la tracción y rotura (Sánchez-González et al., 2010; Reyes Chaparro et al., 2015; Carrero et al., 2019). Además, protegen los componentes activos del AE de factores como calor, pH, oxígeno y luz, factores a los cuales se ven expuestos en las aplicaciones en campo (Jovanovic et al., 2016).

El siguiente ejemplo práctico proyecta las mediciones promedio de un cultivo de ají de 90 días. Estos cálculos son necesarios para suponer el alcance de los vapores del AE que mantendrían el patógeno bajo el umbral de daño económico en un cultivo. Por tanto, para la evaluación de los ensayos, se diseña un sistema de liberación sostenida (figura 30).

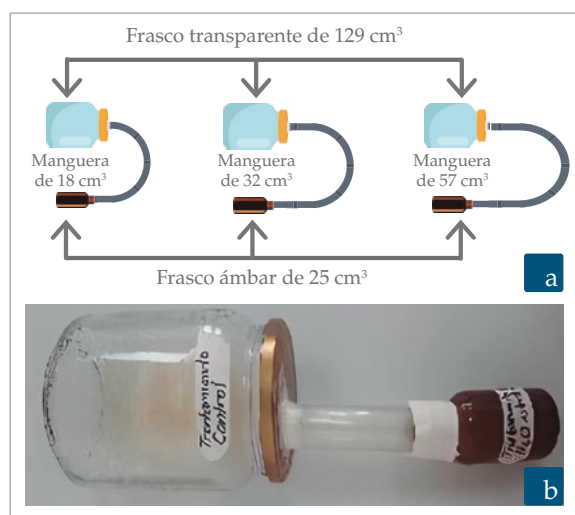


Figura 30. Diagrama de los sistemas de liberación sostenida para ensayo *in vitro* del efecto volátil de los AE. Las variaciones en el diámetro de la manguera dan como resultado tres volúmenes para cada tipo de sistema: 147, 161 y 186 cm³. a. Diseño de los sistemas; b. Ensamble artesanal del sistema.

Fuente: Elaboración propia

Foto: Glorismar Castro

Reinoculación del patógeno: Para valorar el efecto prolongado del AE de *L. alba* en condiciones de laboratorio, y después de evaluar los parámetros que miden su efecto inhibitorio, se efectúa una reinoculación del microorganismo a los 21 días de iniciado el ensayo, en los tratamientos donde se logre alcanzar la CMI del patógeno. El objetivo es observar el efecto prolongado sobre el patógeno de los componentes activos del AE y así obtener una presión inhibitoria satisfactoria sobre el inóculo hasta la finalización del ensayo (figura 31).



Foto: Glorismar Castro

Figura 31. Fotografía de la reinoculación del patógeno en el sistema 1 con 30 cápsulas, al finalizar los 72 días del ensayo del efecto volátil de los AE. La flecha verde muestra el primer inóculo entre los días 1 y 21 y la flecha roja, el segundo inóculo el día 21.

Manejo integrado de plagas y enfermedades (MIPE) en frijol y cultivos asociados mediante bioinsumos derivados de las PAMCyA

El cultivo de frijol es altamente sensible al manejo cultural. Los cambios en la aireación del suelo, la disponibilidad de nutrientes, el contenido de materia orgánica y la actividad microbiana pueden afectar su productividad en márgenes hasta de 30 %. Las características de fertilidad del suelo asociadas al contenido de materia orgánica y la eficiencia en los ciclos biogeoquímicos propiciados por la actividad microbiana resultan deficitarios en los valles y sabanas de la región Caribe, donde se ha observado baja nodulación efectiva y, en términos generales, actividad microbiana deprimida, debido probablemente a contenidos de materia orgánica inferiores a 1,5 %. De acuerdo con lo anterior, identificar estrategias que mejoren la conservación de materia orgánica en el suelo y la actividad microbiana puede mejorar la productividad del cultivo de frijol bajo estas condiciones. De igual forma, el manejo sanitario sostenible mejora la inocuidad del grano de frijol al limitar las aplicaciones de agrotóxicos que tienden a acumularse en la semilla.

Incluir en un sistema orgánico procesos de producción propios de un modelo convencional genera en los productores una serie de preocupaciones e incertidumbres alrededor del manejo idóneo de malezas, plagas y enfermedades, a lo cual se suma el afán de implementar mejores prácticas de nutrición en cultivos y de mejorar fertilidad del suelo y rendimiento del producto sembrado. Por tanto, generar insumos amigables con el medio ambiente (como controladores biológicos, microorganismos promotores de crecimiento vegetal y biofertilizantes), y tener la capacidad de emplearlos, solo se logra por medio de investigaciones en las que la microbiología de suelo, así como las ciencias ambientales y agrícolas, desempeñen un papel fundamental, ya que el aporte de estos insumos se dirige a la sanidad del suelo y los cultivos y a los alimentos producidos (Bernal, 2010).

Implementar sistemas de producción orgánica no solo permite obtener más y mejores alimentos de alta calidad, sino también conservar, mejorar y utilizar los recursos naturales de manera más eficiente, promoviendo la salud y el bienestar tanto de los agricultores y consumidores, como de los organismos que forman parte del ecosistema.

Los indicadores de la cadena de hortalizas evidencian un mercado mundial creciente. En el Caribe, este subsector agrícola hace una especial contribución a la seguridad alimentaria mediante cultivos como el frijol, cuya producción en 2017 (año de mayor producción de esta leguminosa) fue de 32,1 millones de toneladas (Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria [CEDRSSA], 2020). Pero en esta región del país, como en muchas otras, los sistemas con alternativas de producción sostenible son insuficientes, y la agricultura convencional tiene un impacto creciente (Mena Rodríguez et al., 2018). Esto está ligado a prácticas de intensificación de la agricultura que dan lugar a la aparición de enfermedades. Por

ejemplo, el mantenimiento de altos rendimientos en los cultivos mediante el uso de agroquímicos disminuye la calidad y funcionalidad del suelo, lo que a su vez afecta su integridad ecológica y aumenta la resistencia de patógenos integrados al sistema (principalmente organismos y microorganismos asociados a las plantas cultivadas) (Srivastava, 2016).

Normalmente, para evitar daños causados por enfermedades ligadas a patógenos resistentes a agroquímicos, la tendencia es desarrollar estrategias como eliminar plantas infectadas que actúan como fuente de inóculo; seleccionar semillas, variedades resistentes y plántulas certificadas; implementar todas aquellas medidas asociadas con el empleo de material de propagación vigilado, y seguir métodos biológicos de evasión y rotación de cultivos ajustados a planes para el manejo adecuado del suelo y la nutrición de los cultivos (Salazar Hernández, 2018). Sin embargo, las alternativas promisorias son poco empleadas en campo, ya que están limitadas sobre todo por el desconocimiento de los productores y por la falta de socialización de resultados de investigación a nivel de campo y de sus aspectos relevantes. Tal es el caso del uso de sustancias de origen natural y/o de microorganismos benéficos como estrategia de manejo y su proyección para la elaboración de bioinsumos (como el empleo de sustancias húmicas, rizobacterias promotoras de crecimiento de plantas [PGPR, por sus siglas en inglés] y aceites esenciales, para realizar un control eficiente de plagas y enfermedades en los cultivos hortícolas).

Una alternativa sostenible y respetuosa con el agroecosistema para alcanzar el manejo efectivo y eficiente de enfermedades ocasionadas por microorganismos y plagas, es la implementación conjunta de tratamientos y técnicas dentro de planes integrales de control de plagas. Así, los profesionales tienen como meta desarrollar estrategias encaminadas a disminuir el uso de agroquímicos convencionales sin afectar el rendimiento y la rentabilidad de los cultivos (Rodríguez Suárez, 2021). De esta forma se logra mantener las plagas y enfermedades bajo un umbral económico de daño. Algunas de las técnicas más sobresalientes involucran el uso de productos naturales como semioquímicos, derivados de plantas (extractos, aceites esenciales), cultivos trampa o de rotación y los modificados genéticamente para generar mayor resistencia a enfermedades (Lamichhane et al., 2016; Najem et al., 2020). Según Raveau et al. (2020), “los productos de biocontrol para el manejo integrado de plagas de cultivo se clasifican en cuatro clases principales, que incluyen macroorganismos, microorganismos, productos semioquímicos y sustancias naturales procedentes de plantas, algas, microorganismos, animales o fuentes minerales” (p. 1).

Uso de bioproductos basados en aceites esenciales en el manejo integrado de plagas y enfermedades de hortalizas y frijol

La agricultura intensiva ocasiona problemas importantes asociados a resistencia y persistencia de enfermedades y plagas, lo que a su vez tiene serias consecuencias en la producción de alimentos. Por esta causa, cada año la producción agrícola mundial disminuye de 20 a 40 %, según estimaciones de la Secretaría de la Convención

Internacional de Protección Fitosanitaria (CIPF) de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2013). Estos problemas también elevan los costos de producción y los gastos por tratamientos preventivos o por eliminación de contaminantes. En este último caso, por ejemplo, es necesario separar los frutos afectados (dado que no pueden comercializarse) y excluir el material vegetal contaminado (el cual puede afectar de manera general el cultivo, lo que supondría su ruina) (Eguillor, 2019).

Una plaga de importancia agrícola que ocasiona altas pérdidas económicas (de hasta 80 % en los cultivos) es la mosca blanca *Bemisia tabaci* (Gennadius), que produce daños directos e indirectos y que es capaz de transmitir una gran cantidad de virosis. Debido a sus características biológicas y de comportamiento, las plagas y enfermedades consideradas de difícil control se tratan desde hace mucho tiempo principalmente con insecticidas químicos, cuyo uso indiscriminado origina importantes problemas en la salud humana y en el medio ambiente, además de generar resistencia en insectos y en otros organismos y microorganismos, lo que a su vez hace necesario aplicar dosis cada vez mayores (FAO, 2012).

Esta situación obliga a plantear estrategias diferentes de control biológico, que forman parte del cada vez más sobresaliente manejo integrado de plagas y enfermedades (MIPE). Una de ellas es el uso de los AE provenientes de ciertas plantas aromáticas medicinales y condimentarias, los cuales exhiben actividad insecticida, antioxidante, antibacteriana, antifúngica y antiviral de amplio espectro (Cisterna & Sepúlveda, 2015).

Los AE presentan una alta actividad insecticida y acaricida en organismos de cuerpo blando, además de que son altamente lipofílicos, lo que facilita inhibir la respiración, reducir la alimentación, disminuir la fecundidad, provocar la disrupción de la cutícula y afectar el crecimiento (Castresan et al., 2013). Además, ejercen una acción antimicrobiana, atribuible a su capacidad de penetrar en las membranas bacterianas e inhibir las propiedades funcionales de las células lipofílicas (Vignola et al., 2020), con lo cual generan daño en las proteínas, filtran del contenido celular, coagulan el citoplasma y disminuyen la fuerza motriz, entre otros efectos (Omar & Kordali, 2019; Vaou et al., 2021). Un ejemplo de lo anterior es la toxicidad que ocasionan los fenoles mediante la inhibición enzimática por oxidación de compuestos. Asimismo, los terpenos pueden romper la membrana a través de los compuestos lipofílicos, mientras que las lectinas y los polipéptidos forman canales iónicos en la membrana de las células procariotas o causan inhibición competitiva por adhesión de proteínas microbianas a los polisacáridos receptores del hospedante (Álvarez-Martínez et al., 2021).

Para el uso de los extractos en campo, se elaboran diluciones de las hojas en concentraciones diferentes, que dependen de la severidad de la enfermedad o de la plaga y el cultivo. Se destaca el extracto de nim (*Azadirachta indica*), el cual contiene diversos componentes de acción insecticida y bactericida, con la azadiractina como el más importante. También se resaltan los extractos repelentes obtenidos del ajo (*Allium*

sativum) o la cebolla (*Allium cepa*), con componentes como la aliína, el cicloide de alitina, la alicina y el dialil disulfuro, que son una alternativa natural contra plagas de ácaros, minadores, barrenadores, áfidos, pulgones, nematodos, hongos y bacterias (Westerdahl et al., 2020).

También sobresale el extracto de margarita piretro (*Tanacetum cinerariifolium*), cuyo contenido de piretrinas tiene un efecto biológico de rápida acción y baja persistencia en el ambiente, dada su fácil degradación. Este componente actúa por contacto y provoca parálisis en insectos plaga de interés agrícola como pulgones, gorgojos, trips, escarabajos y moscas blancas. Sin embargo, su espectro de acción es limitado ya que su efecto no es selectivo y puede afectar fauna auxiliar beneficiosa. Caso diferente es el de la cuasina, un extracto obtenido de la corteza del árbol *Quassia amara*, que no genera afectaciones en los insectos predadores de plagas o polinizadores, ya que cubre la superficie de la planta con una capa amarga que actúa como repelente de insectos picadores y chupadores como orugas, ácaros, áfidos y minadores.

La eficacia de los AE y sus constituyentes varía según su perfil fitoquímico y el objetivo entomológico. La tabla 4 contiene ejemplos de la actividad biológica de algunas PAMCyA sobre insectos plagas de importancia agrícola, con énfasis en sus efectos insecticidas, que reducen e interrumpen el crecimiento de los insectos en varias etapas de su vida.

Tabla 4. Aceites esenciales empleados como insecticidas/nematicidas para el control de plagas de importancia agrícola

Nombre científico de la planta	Parte de la planta	Insectos y nematodos	Acción
<i>Artemisia dubia</i>	Partes aéreas (flores)	<i>Tribolium castaneum</i> y <i>Liposcelis bostrychophila</i>	Insecticida natural
<i>Juniperus formosana</i>	Hojas	<i>Tribolium castaneum</i> y <i>Liposcelis bostrychophila</i>	Insecticida y repelente
<i>Hyptis pectinata</i>	Hojas	<i>Atta sexdens</i> y <i>A. sexdens rubropilosa</i> Forel	Nuevos insecticidas
<i>Allium sativum</i>	Fruto	<i>Tenebrio molitor</i>	Control de plagas
<i>Aristolochia trilobata</i>	Hojas	<i>Atta sexdens</i> y <i>Acromyrmex balzani</i>	Insecticida
<i>Artemisia annua</i> y <i>Artemisia dracuncululus</i>	Partes aéreas (flores)	<i>Calliphora vomitoria</i>	Inhibición de oviposición (fumigación)
<i>Eucalyptus</i> sp., <i>Mentha x piperita</i> , <i>Achillea millefolium</i> , <i>Origanum vulgare</i> y <i>Rosmarinus officinalis</i>	Follaje fresco o seco	<i>Supella longipalpa</i>	Toxicidad, fumigante y actividad repelente

(Continúa)

(Continuación tabla 4)

Nombre científico de la planta	Parte de la planta	Insectos y nematodos	Acción
<i>Melaleuca alternifolia</i>	Hojas	<i>Sitophilus zeamais</i>	Fumigante
<i>Artemisia anethoides</i>	Hojas frescas	<i>Tribolium castaneum</i> y <i>Lasioderma serricorne</i>	Toxicidad de contacto, repelente y fumigante
<i>Lippia sidoides</i>	Hojas	<i>Rhodnius prolixus</i>	Efecto ninficida, ovicida, fago inhibición
<i>Curcuma longa</i>	Tallo subterráneo (rizoma)	<i>Trichoplusia ni</i>	Insecticida botánico
<i>Atalantia monophylla</i>	Hojas frescas	<i>Callosobruchus maculatus</i> y <i>Sitophilus oryzae</i>	Insecticida
<i>Mentha spicata</i> , <i>Mentha pulegium</i> , <i>Pelargonium graveolens</i> , <i>Lippia alba</i>	Partes aéreas (hojas y flores)	<i>Spodoptera littoralis</i> , <i>S. frugiperda</i> , <i>Leptinotarsa decemlineata</i> y <i>Myzus persicae</i>	Actividad nematocida y fitotóxica, insecticida, tópico, larvicida
<i>Cymbopogon citratus</i>	Hojas	<i>Trichoplusia ni</i>	Larvicida
<i>Ocimum gratissimum</i> , <i>Lippia alba</i> , <i>L. sidoides</i> , <i>Cymbopogon citratus</i> , <i>C. winterianus</i> , <i>Eucalyptus tereticornis</i>	Partes aéreas (hojas y ramas)	<i>Meloidogyne incognita</i> raza 2	Toxicidad, fumigante y larvicida, antiparasitario
<i>Lippia alba</i> , <i>Tagetes lucida</i> , <i>Lepechinia betonicifolia</i> , <i>Cananga odorata</i> , <i>Rosmarinus officinalis</i>	Partes aéreas (principalmente hojas)	<i>Sitophilus zeamais</i> y <i>Tribolium castaneum</i>	Insecticida, repelente

Fuente: Elaboración propia con base en Lugo Trampe & Morales (2017), Westerdahl et al. (2020)

Solos, combinados o variando su forma de aplicación, los AE son una alternativa eficiente para el control de plagas y enfermedades de origen bacteriano y fúngico en los cultivos. Diversos estudios reportan su utilidad en el control de enfermedades producidas por hongos y bacterias en cultivos de importancia económica y alimentaria del país (tabla 5).

Tabla 5. Aceites esenciales empleados como bactericidas/fungicidas para el control de enfermedades de importancia agrícola

Nombre científico de la planta	Parte de la planta	Insecto, nematodo y microorganismo	Acción
<i>Coriandrum sativum</i> , <i>Cymbopogon citratus</i> , <i>Cymbopogon flexuosus</i> , <i>Lippia alba</i>	Partes aéreas (hojas, ramas y flores)	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	Inhibición del crecimiento (biocida y biostático), actividad antifúngica
<i>Lippia alba</i> , <i>L. origanoides</i>	Partes aéreas (hojas)	<i>Fusarium oxysporum</i>	Contacto, inhibición del crecimiento (biocida y biostático), bactericida
<i>Lippia alba</i> , <i>Cymbopogon citratus</i>	Partes aéreas (hojas y flores)	<i>Macrophomina phaseolina</i> , <i>Phytophthora capsici</i> y <i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	Aspersión, inhibición del crecimiento, actividad antifúngica
<i>Lippia alba</i>	Partes aéreas (hojas y flores)	<i>Ustilago scitaminea</i> , <i>Colletotrichum falcatum</i> , <i>Curvularia lunata</i> , <i>Alternaria solani</i>	Fumigante, actividad antifúngica (biocida y biostático)
<i>Chenopodium ambrosioides</i> , <i>Citrus aurantium</i> , <i>Clausena pentaphylla</i> , <i>Hyptis suaveolens</i> , <i>Lippia alba</i> , <i>Mentha arvensis</i> , <i>Ocimum sanctum</i>	Partes aéreas (principalmente hojas)	<i>Erwinia herbicola</i>	Actividad bactericida (biocida y biostática)
<i>Lippia origanoides</i> , <i>L. citriodora</i> y <i>L. alba</i>	Partes aéreas (hojas y flores)	<i>Moniliophthora roreri</i>	Fumigante, actividad antifúngica (biostático y biocida)

Fuente: Elaboración propia con base en Ortega Cuadros et al. (2020b)

Uso de promotores de crecimiento vegetal y acondicionadores para la nutrición sostenible del frijol

Con respecto al sistema productivo y el impacto ambiental, es importante mencionar que el frijol común desempeña un papel fundamental en el mantenimiento de la calidad del suelo por su participación en la fijación de nitrógeno, el cual es deficiente en suelos del trópico seco. Por esta razón ha sido ampliamente utilizado en ecoagricultura, en recuperación de suelos degradados por agricultura intensiva o contaminantes químicos industriales y en explotación minera, entre otras actividades antropogénicas (Bedoussac et al., 2013; Castellano Hinojosa et al., 2016). Sin embargo, el manejo del cultivo de frijol en el Caribe seco tiene un impacto ambiental negativo debido a la aplicación indiscriminada de agroquímicos para el control de enfermedades causadas por patógenos de la raíz y el brote (Melo et al., 2015). También se ha establecido que el crecimiento y la patogenicidad de microorganismos como *Macrophomina phaseolina* están influenciados por la disponibilidad de agua en el suelo. La exposición del hongo a la alta evapotranspiración en zonas cálidas (la cual ocasiona pérdida de humedad)

afecta la densidad de los microesclerocios y la infección, si bien la humedad alta o las condiciones de riego también incrementan la agresividad (Lira-Méndez et al., 2012), lo que subraya la importancia de conocer las características de los suelos en función del tipo de especie que se desea cultivar.

Para el caso del departamento del Cesar, cultivos como el frijol requieren suelos profundos y fértiles, de texturas franco-limosas, aunque también toleran las franco-arcillosas. El cultivo se desarrolla bien en suelos con pH de 5,5 a 6,5, altura de 1.600 a 2.000 m s. n. m., precipitaciones por encima de los 500 mm anuales y humedad relativa de 60 a 75 %. Asimismo, la planta de frijol se considera susceptible a la salinidad, al igual que a las elevadas concentraciones de boro (B) y sodio (Na) en el suelo y/o en el agua de riego, y necesita de mínimo 1,5 % de materia orgánica en la capa arable, y de una textura liviana que no tenga más de 40 % de arcilla, ya que el buen drenaje y la aireación son fundamentales para un buen rendimiento del cultivo (Tofiño et al., 2021).

El desconocimiento de los suelos de siembra y un manejo inapropiado del sistema productivo tienen como efecto la transmisión de enfermedades desde la planta al grano, lo cual constituye uno de los principales problemas sanitarios del frijol, ya que no existen sistemas definidos de producción local de semilla de alta calidad y el productor toma parte de su cosecha como semilla para el siguiente ciclo. Por lo tanto, la misma semilla porta el inóculo de patógenos del suelo como *Fusarium*, *Sclerotium*, *Macrophomina* y *Rhizoctonia*, que producen daños en la raíz y la base del tallo, y de otros microorganismos que ocasionan enfermedades foliares como antracnosis, mancha angular y virus del mosaico del tabaco, que se transmite tanto por semilla como por áfidos (Gallego et al., 2010).

Existen productos basados en sustancias húmicas (SH) que contribuyen a mejorar el desarrollo de las raíces y favorecen la resistencia a las condiciones de estrés hídrico del Caribe seco y la absorción de nutrientes. Los biofertilizantes a base de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) aplicados en el suelo actúan por medio de la asociación simbiótica rizobios-planta, que ayuda a la fijación biológica de nitrógeno y que estimula la producción de fitohormonas y otros mecanismos de promoción de crecimiento de plantas. Estas estrategias se pueden vincular fácilmente a otras de origen natural como los AE, cuya aplicación en la parte aérea de la planta complementa la acción antimicrobiana de los mecanismos de defensa activados por las PGPR en las raíces, y contribuyen a proteger el cultivo del ataque de patógenos. En ese sentido, estas estrategias empleadas de manera integral ayudarían a intensificar la agricultura ecológica relacionada con la promoción del crecimiento vegetal y su adaptación a nuevas formas de producción (Canellas et al., 2015), las cuales serían un complemento ideal de los programas de mejoramiento vegetal, para que los genotipos elite con mayor tolerancia a la sequía y el calor puedan expresar su máxima productividad en articulación con sistemas sostenibles de producción.

¿Qué son las sustancias húmicas (SH)?

Las SH son producto de la degradación de materiales biológicos como restos de plantas, animales y microorganismos (figura 32). Estas sustancias se caracterizan por su estabilidad química ya que presentan diferentes tipos de enlaces químicos (hidrógeno, molécula de Van der Waals) (Piccolo, 2002; Theng et al., 2012), que propician estructuras de cadena larga o corta (figura 32).

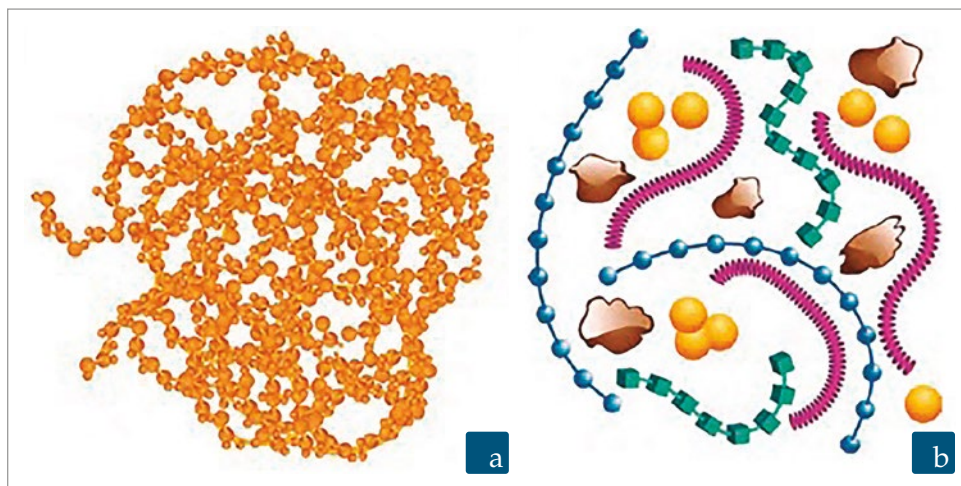


Figura 32. Estructura supramolecular de las SH. a. Cadena larga; b. Cadena corta.

Fuente: Elaboración propia con base en Humintech (2018)

Importancia del estudio y manejo de las sustancias húmicas

Su importancia radica en la gran influencia que ejercen sobre el crecimiento y desarrollo de los cultivos, de forma directa e indirecta. Los efectos indirectos se refieren al papel que desempeñan en el mejoramiento de la fertilidad del suelo, específicamente en las propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo. Los efectos directos se derivan de su absorción por parte de las plantas cultivadas y de los cambios que promueven en su metabolismo, lo cual, a la postre, se refleja en una mayor tolerancia de la planta al estrés ambiental y una mejor producción y calidad en las cosechas.

¿Cómo se clasifican las sustancias húmicas?

El desarrollo de los cultivos puede verse afectado por factores como el pH o acidez del suelo, el cual determina la mayor o menor solubilidad de las SH. Estas sustancias constituyen la fracción coloidal de la materia orgánica del suelo y aportan entre 85 y 90 % del contenido total de carbono orgánico (Dick et al., 2011) (figura 33).

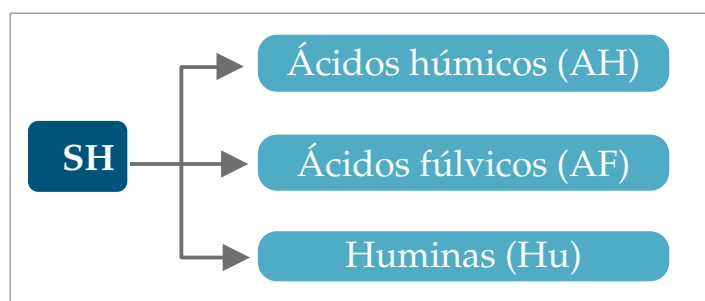


Figura 33. Clasificación de las SH de acuerdo con la solubilidad en función del pH.
Fuente: Dick et al. (2011)

La clasificación de las SH es de gran importancia cuando se aplican en un suelo con un grado de pH conocido, ya que la solubilidad de las sustancias disponibles para la nutrición vegetal está condicionada por el nivel de acidez. Las SH se clasifican en las siguientes dos fracciones: ácidos fúlvicos (AF), solubles en un medio ácido, y ácidos húmicos (AH), solubles en medio alcalino e insolubles en medio ácido (figura 34). En suelos ácidos, la función de las SH consiste en neutralizar la acidez (que causa estrés en las plantas), y en suelos alcalinos, la función es mejorar la disponibilidad de nutrientes para las plantas.

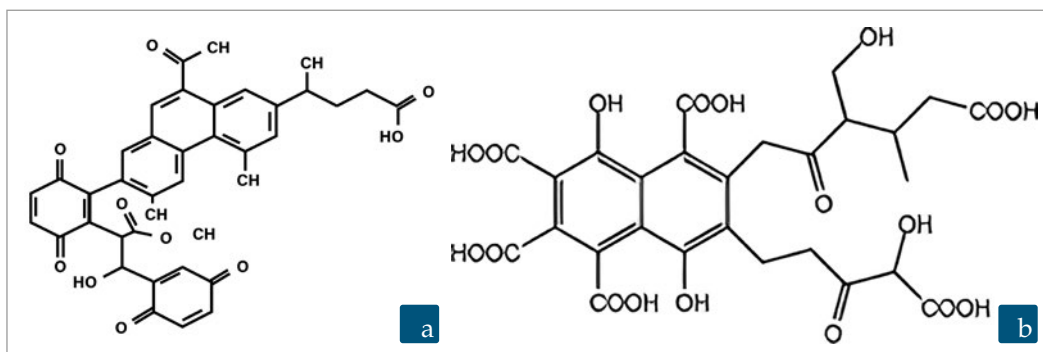


Figura 34. Estructura química de un ácido húmico y uno fúlvico. a. Ácido húmico; b. Ácido fúlvico.
Fuente: Stevenson (1994)

Por otro lado, existe una fracción orgánica insoluble en medios alcalinos y ácidos, que sobra de la extracción de los AH y AF, conocida como humina (Hu) (Baldotto & Borges Baldotto, 2014).

Fuentes utilizadas para la extracción de sustancias húmicas

Algunas de las fuentes de extracción más utilizadas son leonardita (Mora et al., 2010), lignito (Valero et al., 2018) y turba (Silva et al., 2011), que son carbones de baja calidad para la producción de energía, encontrados a menudo en la parte superior del perfil de los depósitos de carbón y considerados residuos de la explotación minera (figura 35).



Figura 35. Fuentes principales de SH.

Fuente: Elaboración propia

Este tipo de carbones, ricos en AH y AF, no se utilizan comercialmente en la producción de energía debido a su bajo poder energético. Sin embargo, se consideran una fuente rica de SH, una vez se tratan con el método clásico de extracción con soluciones alcalinas (Vásquez et al., 2019).

Otras fuentes de SH, en las que se utiliza el mismo método clásico con soluciones alcalinas, son el suelo, los desechos de animales y los compuestos orgánicos elaborados a partir de humus de lombriz (lombricompost) (Vásquez et al., 2019), torta de filtración (tierra de diatomeas o carbón activado), estiércol de ganado o pollos, desperdicios de alimentos, residuos urbanos y lodos residuales (Baldotto & Borges Baldotto, 2014; De Souza & Roca, 2018).

Efecto de las sustancias húmicas en la promoción del crecimiento de las plantas

Sus efectos han sido reportados en numerosos estudios y pueden ser directos o indirectos (Canellas & Olivares, 2014; Canellas et al., 2015). Los directos se relacionan con procesos metabólicos y fisiológicos y modifican el desarrollo o la organización de la raíz y la absorción de nutrientes (Trevisan et al., 2010; Barros Dobbs et al., 2010), mientras que los indirectos se asocian a propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo e influyen en la fertilidad (al facilitar la absorción de nutrientes y aumentarla a nivel radicular), en el suministro de nutrientes, en la retención de humedad y en otros aspectos (figura 36) (Veobides Amador et al., 2018). Estos efectos positivos se reflejan posteriormente en la fisiología de las plantas y la producción del cultivo (Canellas et al., 2011).



Figura 36. Principales efectos de las SH en las plantas.

Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, la mayoría de los efectos beneficiosos reportados sobre el crecimiento de las plantas dependen de la fuente, la dosis, la forma de aplicación (en el suelo o foliar), de la especie y la variedad vegetal (Zandonadi et al., 2007; Rose et al., 2014; Canellas et al., 2015). Estos efectos parecen estar relacionados con cambios en la forma, el tamaño y la estructura de las raíces más profundas (Canellas et al., 2015). En ese sentido, las interacciones SH-planta alteran la tasa de degradación o transformación de los minerales, generan cambios en el pH y liberan agentes que forman complejos con metales y otros nutrientes poco accesibles en el suelo (Veobides Amador et al., 2018).

Las SH estimulan la producción de auxinas, hormonas de crecimiento vegetal como el ácido indol-3-acético (AIA), el cual regula procesos como la división, expansión y diferenciación celular, la formación de raíces laterales y la floración, entre otros.

La producción de fitohormonas promovida por las SH favorece la disponibilidad de energía en la raíz, necesaria para absorber los macro- y micronutrientes (Félix, 2018). Además, estimula procesos enzimáticos que permiten una mayor elasticidad de la

pared celular, factor fundamental para el crecimiento y alargamiento de la célula vegetal (Rosales Aguilar & Bañuelos Herrera, 2015).

Algunos estudios reportan que los AH aislados de lombricompost y lodos residuales propician el desarrollo de las raíces en plántulas de especies como maíz y café (Argueta-Rodríguez et al., 2018). Además, según Barros Dobbs et al. (2010), los materiales húmicos transformados actúan sobre la fisiología de las plantas, lo que evidencia bioactividad en el desarrollo radicular, dadas las fracciones de AH, que tienen una característica hidrofílica (afinidad con el agua).

Se reporta también la contribución de las SH a la absorción de nutrientes por parte de las plantas, como consecuencia de los procesos enzimáticos radicales, que facilitan la asimilación de elementos clave como el nitrato (Canellas et al., 2015). Sin embargo, esta actividad todavía no ha sido reportada en el frijol común.

Factores que influyen la bioactividad de las sustancias húmicas

Dentro de los factores que pueden influir decisivamente en la bioactividad de las SH se encuentran la especie, el órgano y la edad de la planta; la dosis recomendada para cada especie o cultivo; la materia orgánica de donde fueron extraídas, y las características fisicoquímicas específicas de las SH utilizadas (Zandonadi et al., 2014).

El estudio de aplicación de las SH en la productividad de cultivos agrícolas y ganaderos de interés comercial ha permitido su uso para promover el crecimiento de cultivos como caña de azúcar y maíz (Lopes Olivares et al., 2017). Otras investigaciones, como la de Reyes et al. (2017), demuestran el efecto de aplicar AH con potasio (K) sobre el crecimiento del pepino. Bernardes et al. (2011) estudiaron el efecto de adicionar diferentes dosis de SH extraídas del carbón y observaron un aumento en la producción de masa seca de la parte aérea y de las concentraciones de P, K, Ca, Mg en plantas de tomate (en este caso se usó un producto comercial a base de SH). Por su parte, Lüdtke (2014) encontró que las SH extraídas de leonardita tienen un impacto en el rendimiento de la lechuga y el cebollín, ya que estimulan el crecimiento de las plantas.

Sustancias húmicas comerciales en Colombia

A corte de septiembre de 2021, y con base en lo reportado por el ICA, son seis los productos bioestimulantes comerciales basados en SH, los cuales vienen granulados, en polvo o líquidos. La fuente de las SH de estos productos comerciales son lombricompost y carbones de bajo rango como leonardita. Tal como se indica en la tabla 6, estas sustancias suelen aplicarse en el suelo, ya que la mayoría son ricas en ácidos húmicos. Las que son ricas en ácidos fúlvicos por lo general se aplican de manera foliar.

Tabla 6. Productos comerciales en Colombia basados en SH

Producto	Clasificación	Formulación	Uso específico	Cultivo
SH1	Acondicionador	n/d*	Suelo	Lechuga
SH2	Acondicionador	Granulado	Suelo	Aplicación en suelo
SH3	Acondicionador	n/d*	Suelo	n/d*
SH4	Acondicionador	Polvo soluble	Suelo	n/d*
SH5	Fertilizante	Líquido	Foliar	Rosa
SH6	Acondicionador	Líquido	Suelo	n/d*
SH7	Acondicionador	Líquido	Suelo	n/d*
SH8	Fertilizante	Líquido	Suelo	n/d*

* n/d: no disponible

Fuente: Elaboración propia con base en ICA (2021)

En el listado de referencia no aparece el frijol como cultivo específico, razón por la cual, a continuación, se presentan los resultados del uso de dos productos comerciales a base de sustancias húmicas en el Caribe seco: el primer producto se denomina HP, que contiene nitrógeno total 32,2 g/L, nitrógeno ureico 27 g/L, nitrógeno amoniacal 5,2 g/L, fosforo soluble en agua 21,2 g/L, potasio soluble en agua 59,3 g/L, magnesio soluble en agua 0,3 g/L, carbono total oxidable 44,3 g/L; el segundo producto se llama HF y contiene potasio soluble en agua 49,3 g/L, carbono de extracto húmico total 49 g/L, carbono de ácidos húmicos 44 g/L y carbono de ácidos fúlvicos 5 g/L.

Efecto de las sustancias húmicas en el crecimiento de genotipos de frijol adaptados a las condiciones de sequía del Caribe colombiano

Como parte del proyecto “Obtención de variedades para uso comercial o de economía campesina de frijoles tolerantes a la sequía bajo sistemas de producción sostenibles en el Caribe colombiano”, financiado por KolFACI y ejecutado por AGROSAVIA, y en un experimento en condiciones de casa malla, se evaluaron diferentes dosis de dos productos comerciales basados en SH (HP y HF), en cuatro genotipos de frijol común (entregados a la Corporación mediante acuerdo de transferencia de material [ATM] y por medio del programa de mejoramiento de frijol del Centro Internacional de Agricultura Tropical [CIAT]) (figura 37).

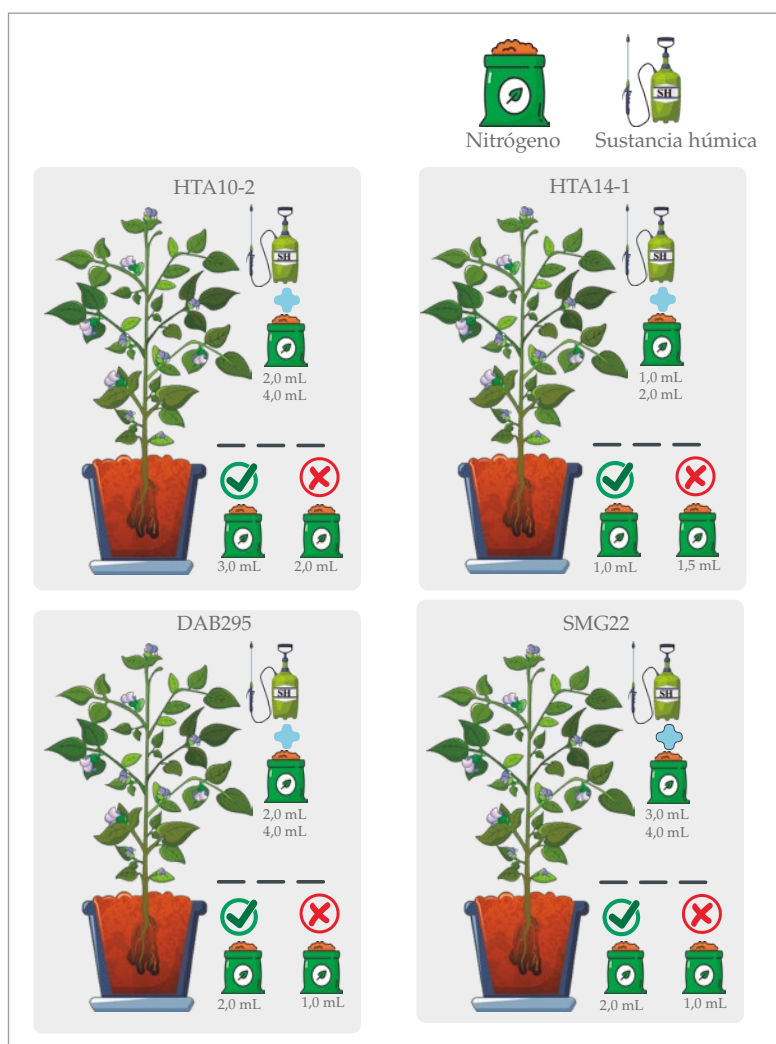


Figura 37. Evaluación de la aplicación de SH comerciales en la promoción de crecimiento de genotipos de frijol, con diferentes dosis de aplicación (n = 3).

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la figura 37 muestran que los tratamientos con SH por lo general incrementan el volumen radical, en comparación con los tratamientos con y sin adición de nitrógeno, en los que la excepción fue el genotipo 48 (CIAT HTA14-1), que presentó mayor volumen de raíces sin este último producto químico. En términos generales, con los acondicionadores y bioinsumos el incremento del volumen de las raíces estuvo entre 2 y 4 mL, rango superior al obtenido sin adición de nitrógeno, que fue menor de 2 mL. Un mayor volumen de raíces en condiciones del Caribe seco mejora la capacidad de la planta de explorar el suelo en busca de agua y nutrientes.

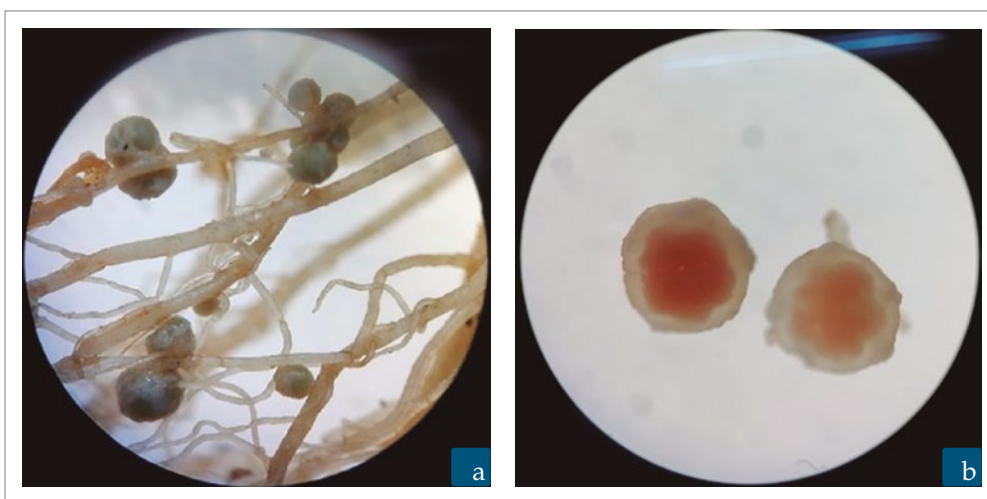
Los resultados alcanzados son importantes y promisorios para la siguiente fase de evaluación en campo, en la que se valorará el efecto de la aplicación conjunta con bacterias promotoras de crecimiento de plantas de frijol común.

¿Cuáles son las rizobacterias promotoras de crecimiento de plantas (PGPR)?

Las PGPR son un grupo muy diverso de bacterias que tienen la capacidad de promover el crecimiento de las plantas mediante mecanismos como fijación biológica de nitrógeno (FBN) (Moreno et al., 2018); producción de fitohormonas o reguladores de crecimiento (auxinas, citoquininas, giberelinas, etc.); inhibición del etileno (responsable de la senescencia); antagonismo frente a microorganismos causantes de enfermedades (mediante la producción de sustancias conocidas como “sideróforos”, que privan a los patógenos del hierro necesario para su crecimiento y el desarrollo de la enfermedad); activación de sistemas de defensa en las plantas, y aumento en la disponibilidad de nutrientes como el fósforo (Angulo et al., 2014; Corrales Ramírez et al., 2014; Moreno et al., 2018).

Los rizobios como fijadores de nitrógeno en asociación simbiótica

Las bacterias denominadas “rizobios” pertenecen al grupo de las PGPR y son consideradas el principal grupo de diazótrofos (fijadores de nitrógeno) simbióticos, es decir, tienen la capacidad de asociarse con plantas leguminosas de importancia agrícola y fijar nitrógeno. El proceso de asociación simbiótica entre rizobios y plantas de la familia Leguminosae se caracteriza por la formación de estructuras hipertróficas (con engrosamiento por desarrollo excesivo del tejido) en raíces y tallo, denominadas “nódulos” (figura 38), los cuales presentan un color rojizo en su interior, resultado de la actividad de una proteína pigmentada llamada “leghemoglobina”, indicadora de actividad microbiana, o una coloración verde grisácea o marrón, indicadora de nódulos muertos (Pommeresche & Hansen, 2017).



Fotos: Juan Cubillos

Figura 38. Nódulos activos de la cepa C229 (*Rhizobium tropici*). a. Nódulos adheridos a las raíces de la planta; b. Coloración rojiza de los nódulos, indicadora de actividad de la leghemoglobina y de efectiva fijación biológica de nitrógeno.

La palabra *rizobio* proviene del género *Rhizobium*, compuesta por *rizo* ('raíz') y *bium* ('vida'), 'vida de la raíz'. Las bacterias de este tipo, vistas bajo el microscopio, presentan forma de bastones (bacilos), y dado que se tiñen de rojo como reacción a la coloración de Gram, se clasifican como gramnegativas (figura 39). Además, no producen esporas de resistencia y son aeróbicas (Zakhia & De Laujudie, 2001).

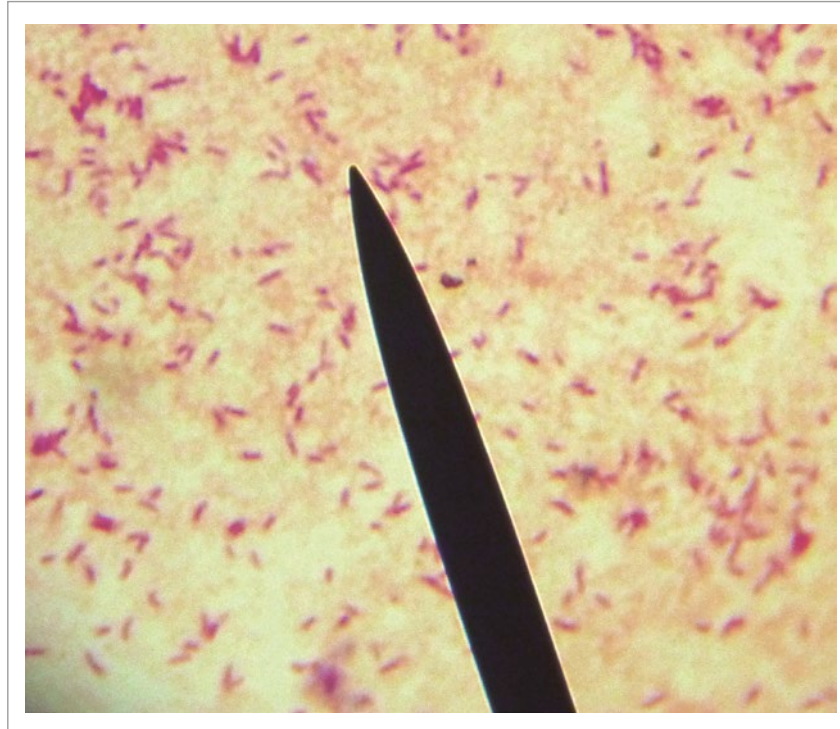


Foto: Juan Cubillos

Figura 39. Coloración de Gram en una bacteria perteneciente a los rizobios.

Dentro de los rizobios se conocen más de 100 especies distribuidas en 18 géneros: *Rhizobium*, *Ensifer*, *Allorhizobium*, *Pararhizobium*, *Neorhizobium*, *Shinella*, *Mesorhizobium*, *Aminobacter*, *Phyllobacterium*, *Ochrobactrum*, *Methylobacterium*, *Microvirga*, *Bradyrhizobium*, *Azorhizobium*, *Devosia*, *Burkholderia*, *Cupriavidus* y *Trinickia* (Parte et al., 2020).

El proceso de interacción rizobios-planta leguminosa como el frijol comienza con la deficiencia nutricional de nitrógeno de la planta, que envía señales a los rizobios mediante compuestos conocidos como “flavonoides”, los cuales son exudados por las raíces. Estos flavonoides, a su vez, activan los genes Nod en el núcleo celular de los rizobios, que producen una señal de simbiosis conocida como “factor Nod”, el cual contiene distintas sustancias químicas y varía estructuralmente en función de la especie de rizobio (figura 40).

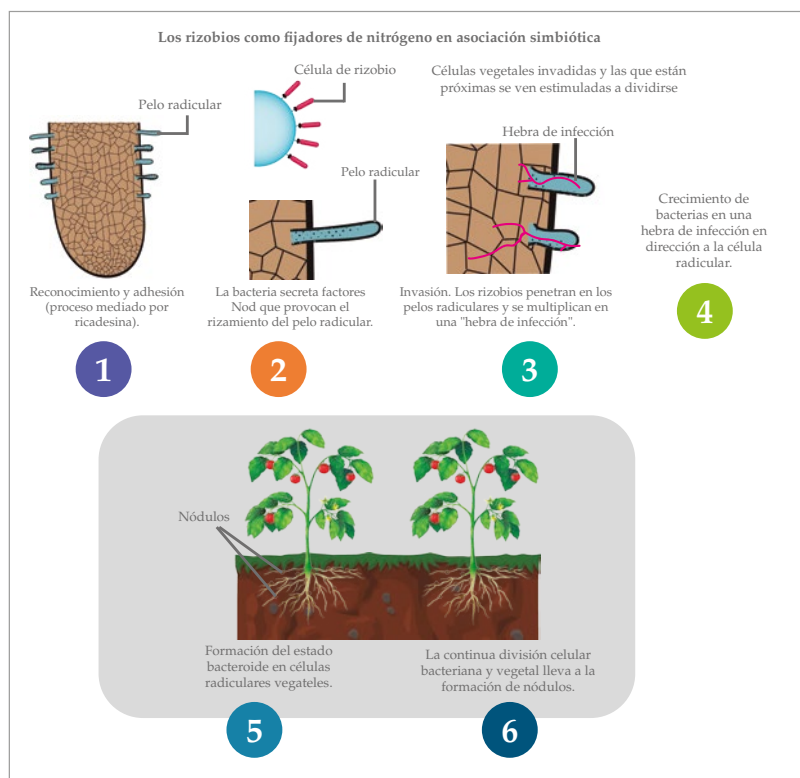


Figura 40. Proceso de asociación simbiótica rizobios-leguminosa para fijación biológica de nitrógeno.
Fuente: Elaboración propia con base en Laranjo et al. (2014)

Una vez producida la interacción inicial planta-rizobios con las señales y el encorvamiento de los pelos radiculares (figura 40), las bacterias actúan en la división de células que se da al interior de la raíz y estimulan la formación del tejido conocido como “meristemo nodular” (Sousa Câmara, 2014).

¿Qué es la fijación biológica de nitrógeno?

Es la capacidad de bacterias como los rizobios, mediante asociación simbiótica con leguminosas, de tomar nitrógeno atmosférico inactivo para procesos biológicos y convertirlo en formas asimilables para las plantas, es decir, en formas de nitrato y amonio (Bianco, 2020). Esa capacidad de fijar nitrógeno biológicamente en forma de amonio y nitrato para ponerlo a disposición de las plantas, se halla ausente en estas bacterias cuando no están asociadas con leguminosas, es decir, cuando se encuentran en el suelo como microorganismos de vida libre, alimentándose de la materia orgánica.

Asociación simbiótica de fríjol común con rizobios

Los rizobios establecen relaciones simbióticas con diferentes especies de plantas leguminosas, entre las cuales se destaca el fríjol común. Esta simbiosis disminuye los daños ocasionados por metabolitos secundarios producidos por plantas consideradas

malezas, que influyen en el crecimiento de la planta de fríjol (Pérez-Peralta et al., 2019); mejora la eficiencia simbiótica, e interviene en la tolerancia frente a temperatura y algunos tipos de estrés (Cardoso et al., 2017). Algunos géneros de rizobios que forman nódulos por medio de asociación simbiótica con fríjol son *Rhizobium*, *Agrobacterium*, *Ensifer*, *Bradyrhizobium* y *Ochrobactrum*, y las especies más predominantes son *Ensifer fredii* y *Rhizobium phaseoli* (Wang et al., 2016). Las interacciones simbióticas con rizobios mejoran el rendimiento y productividad del cultivo de fríjol mediante uno de los mecanismos promotores de crecimiento vegetal de mayor impacto: la fijación biológica de nitrógeno (Maheshwari et al., 2013).

Rizobios simbioses de genotipos del fríjol adaptados a las condiciones del Caribe seco colombiano

El equipo del proyecto “Obtención de variedades para uso comercial o de economía campesina de frijoles tolerantes a la sequía bajo sistemas de producción sostenibles en el Caribe colombiano” de KolFACI y AGROSAVIA (Centro de Investigación [CI] Motilonia), después de dos ciclos de evaluación de 47 genotipos de fríjol, seleccionó las siguientes cinco variedades promisorias con base en características comerciales de semilla, como tamaño grande y mediano, rendimiento de producción y contenido mineral: 45 (CIAT HTA10-2), 48 (CIAT HTA14-1), 55 (CIAT G122), 56 (CIAT DAB295) y 77 (CIAT SMG22) (AGROSAVIA, 2021a). Posteriormente, en condiciones de laboratorio, se llevó a cabo un experimento de autenticación simbiótica de rizobios del banco de cepas de AGROSAVIA. Para ello, se seleccionaron diez microorganismos con características típicas de rizobios (llamados “cepas”), que mostraron ser simbioses de *P. vulgaris*, y una cepa de rizobio simbiote de *Vigna sinensis*, todos ellos obtenidos en localidades de clima cálido.

La simbiosis de las cepas con los genotipos del fríjol común fue determinada por la formación de nódulos y la actividad de la enzima leghemoglobina, la cual se evidencia mediante la coloración rojiza que exhibe el interior del nódulo cuando se parte por la mitad.

El genotipo más promiscuo, es decir, el que establece simbiosis con el mayor número de cepas fue 56 (CIAT DAB295), mientras que la cepa C229 (*Rhizobium tropici*) fue la que infectó el mayor número de genotipos y como resultado formó nódulos activos en el proceso de fijación biológica de nitrógeno. Esto es importante debido a que esta cepa ya ha sido reportada como formadora de nódulos en plantas de fríjol común.

La afinidad de las cepas con los genotipos puede ser resultado de la compatibilidad entre los compuestos liberados por las semillas de fríjol y la bacteria. Como lo describen Vaishnav et al. (2017), la simbiosis inicia con la liberación por parte de las raíces de exudados como azúcares y flavonoides, los cuales actúan como atrayentes de los rizobios e inductores de genes que permiten la formación de los nódulos característicos.

Mediante evaluaciones de laboratorio e invernadero se comprobó que algunos aislamientos de rizobios del banco de AGROSAVIA forman nódulos y fijan nitrógeno en las raíces de los siguientes genotipos experimentales de frijol de sequía: 45 (CIAT HTA10-2), 48 (CIAT HTA14-1), 55 (CIAT G122), 56 (CIAT DAB295) y 77 (CIAT SMG22). Lo anterior fue un resultado significativo, que le permitió al equipo técnico del proyecto pasar a una siguiente fase de evaluación de las cepas en cuanto a su eficiencia para fijar nitrógeno, lo cual se ve reflejado en el aumento del crecimiento vegetal de las plantas.

Eficiencia simbiótica en la fijación de nitrógeno de cepas de AGROSAVIA en cuatro genotipos de frijol común

Para evaluar la eficiencia simbiótica en la fijación de nitrógeno de las cepas de AGROSAVIA en los cuatro genotipos de frijol común, se estableció un experimento en condiciones de laboratorio, en el que se seleccionaron las cepas que en el experimento anterior de autenticación de simbiosis formaron nódulos activos en los genotipos.

Para el montaje del experimento, se tomaron las semillas de los cuatro genotipos de frijol —45 (CIAT HTA10-2), 48 (CIAT HTA14-1), 56 (CIAT DAB295), 77 (CIAT SMG22)— y se desinfectaron con alcohol al 70 % durante 30 segundos. Se enjuagaron con agua destilada estéril y se sumergieron en hipoclorito de sodio al 3,5 % durante 30 segundos; luego, las semillas se plantaron en vasos de plástico con 900 g de una mezcla de vermiculita y arena (2:1). Posteriormente, las semillas fueron inoculadas con 2 mL de las cepas bacterianas según el tratamiento en una concentración de 1×10^8 UFC/mL (figura 41).



Figura 41. Esquema de inoculación de genotipos de frijol con cepas de rizobios.

Fuente: Elaboración propia

Como controles del experimento, se implementaron dos tratamientos no inoculados, es decir, uno sin las cepas y sin aplicación de nitrógeno (control-N), y el otro sin cepas, pero con adición de nitrógeno inorgánico (control+N) en una dosis equivalente a 100 kg/ha en forma de nitrato de amonio (NH_4NO_3). Esta dosis de nitrógeno se agregó mediante aplicaciones semanales de 10 mL de una solución de 4,28 g/L de NH_4NO_3 durante el desarrollo del experimento (figura 42).



Foto: Juan Cubillos

Figura 42. Experimento de evaluación de eficiencia simbiótica en la fijación biológica de nitrógeno de cepas de AGROSAVIA en cuatro genotipos de frijol común.

Después de 30 días de crecimiento, se recolectaron las plantas separando la parte aérea del sistema radicular. Se determinaron las variables que permiten evaluar la promoción de crecimiento: masa seca de la parte aérea (MSPA), masa seca de la raíz (MSR), así como el nitrógeno acumulado en la parte aérea que permitió determinar el índice de eficiencia relativa.

La cepa P17 (*R. phaseoli*) presentó una MSPA en los genotipos 45 (CIAT HTA10-2) y 77 (CIAT SMG22), lo mismo que el tratamiento que recibió fertilización nitrogenada. Estos resultados son similares a los reportados por Aguilar Ramírez et al. (2019), quienes después de inocular plantas de frijol común con *R. phaseoli*, observaron mayor

vigor en planta, diámetro de tallo y masa seca. Asimismo, Santoyo-Pizano et al. (2021) observaron que *P. vulgaris* respondió positivamente a la simbiosis con *R. phaseoli*. También se ha reportado que *R. phaseoli* aumenta la biomasa y el rendimiento del grano en el cultivo de frijol común. Aserse et al. (2020) lo describen como un rizobio con potencial bioinoculante en condiciones de estrés por sequía.

Entre tanto, en el tratamiento con la cepa *R. tropici* CIAT 899 (cepa P19) en el genotipo 77 (CIAT SMG22), se observó que la MSPA estaba por debajo del tratamiento con fertilización nitrogenada. Este resultado difiere de lo reportado por Gunnabo et al. (2019), quienes, al estudiar la cepa, encontraron que es efectiva en la promoción del crecimiento vegetal de la leguminosa. Cabe mencionar, además, que *R. tropici* es una cepa de uso común para el cultivo de frijol en países de Asia y Suramérica (en Brasil, por ejemplo), que aumenta el rendimiento de la planta y que tolera condiciones abióticas estresantes como altas temperaturas, pH bajos y salinidad. Además, se describe como un rizobio promiscuo (Ormeño-Orrillo et al., 2012; Gomes et al., 2019), característica que no se observó en los presentes resultados, ya que solo se probó como simbionte del genotipo 77 (CIAT SMG22).

Por otra parte, en el genotipo 48-HTA14-, la cepa C229 (*R. tropici*) tuvo una MSPA similar a la obtenida en el manejo con fertilización nitrogenada, mientras que en 56-DAB295 fue superior. Estos resultados son similares a los reportados por Capelesso et al. (2019), quienes encontraron que la inoculación de frijol común con *R. tropici* ejerce una influencia positiva en la altura y el desarrollo de la planta.

La cepa P22 (*Rhizobium pusense* NRCPB10), al inocularse en los genotipos 45 (CIAT HTA10-2) y 56 (CIAT DAB295), presentó la misma MSPA que en los tratamientos con fertilización nitrogenada. Estos resultados se asemejan a los reportados por Costa et al. (2018), quienes aislaron e identificaron varios simbiontes de frijol común correspondientes a esta cepa.

La cepa P37 (*Mesorhizobium qingshengii* CCBAU 33460) fue una de las que más genotipos infectó (48 CIAT HTA14-1, 56 CIAT DAB295, 77 CIAT SMG22). Se encontró que toda la variable MSPA fue estadísticamente igual a los tratamientos con fertilización nitrogenada para los genotipos correspondientes. Esta cepa se aisló inicialmente en los nódulos activos de *Astragalus sinicus* (Zheng et al., 2013), y en la actualidad no hay estudios que la describen como simbionte del frijol común. Se ha encontrado que al menos ocho especies del género *Mesorhizobium* forman nódulos en una amplia variedad de leguminosas (el garbanzo es una de las más importantes) (Laranjo et al., 2014).

El tratamiento con Rhizobiol®, el bioinsumo de AGROSAVIA, en el genotipo 77 (CIAT SMG22), fue el más eficiente. En contenido de MSPA, se mantuvo por encima del tratamiento nitrogenado, y fue el único genotipo nodulado por este tratamiento. Su bioinsumo se basa en *Bradyrhizobium japonicum*, un rizobio que ha demostrado

eficiencia en la nodulación y fijación biológica de nitrógeno en el cultivo de soya (Soto-Valenzuela et al., 2022; Velázquez et al., 2017). Estos resultados contrastan con los encontrados por Ángeles-Núñez y Cruz-Acosta (2015), quienes reportaron que *B. japonicum* no forma nódulos en frijol común. Sin embargo, este género de rizobios ha sido reportado como formador de nódulos en otra especie del género *Phaseolus*, como *P. lunatus* (Cubillos-Hinojosa et al., 2021)

En relación con el índice de eficiencia relativa (IER), el cual muestra qué tan eficiente es una bacteria en la FBN al asociarse simbióticamente con plantas leguminosas, la cepa C299 (*R. tropici*) mostró eficiencia en los dos genotipos con los que se asoció: 48 (CIAT HTA14-1) (93,26 %) y 56 (CIAT DAB295) (91,36 %). Estos resultados concuerdan con los reportados por López-Alcocer et al. (2020), quienes obtuvieron índices de eficiencia en la fijación biológica de nitrógeno (por encima del 83 % de la simbiosis de diferentes cepas de *Rhizobium* sp. con una variedad de frijol común).

La cepa P37 (*M. qingshengii* CCBAU 33460) presentó un alto IER en el genotipo 48 (CIAT HTA14-1), con 91,93 %, seguido del genotipo 56 (CIAT DAB295), con 82,23 %. La cepa P19 (*R. tropici* CIAT 899) obtuvo un 59,58 % en el genotipo 77 (CIAT SMG22). Por último, el tratamiento Rhizobiol® en el genotipo 77 (CIAT SMG22) arrojó un IER de 76,33 %.

El estudio de cepas de rizobios es uno de los primeros pasos para obtener bioinoculantes eficientes en cultivos de interés, puesto que permite conocer qué tan eficiente es la interacción rizobio-leguminosa en condiciones ambientales reales y formular inoculantes dirigidos a las necesidades de los cultivos en una región en particular. Con base en los resultados, se puede inferir que hay microorganismos eficientes en la fijación biológica de nitrógeno que favorecen la biomasa vegetal de algunos de los genotipos de frijol común en estudio, como también cepas que, a pesar de nodular ciertos genotipos, no son eficientes en la fijación de nitrógeno. Esto se asemeja a lo reportado por Moura et al. (2022), los cuales encontraron que solo una quinta parte de los aislamientos de rizobios utilizados en su estudio fueron efectivos en la FBN en frijol común. Lo anterior indica que *P. vulgaris* es un género promiscuo por su capacidad de asociarse con varias especies de rizobios (Shamseldin & Velázquez, 2020). Sin embargo, la nodulación no significa una eficiente fijación biológica de nitrógeno, puesto que las leguminosas pueden ser noduladas por rizobios incluso si la asociación resulta en una deficiente fijación de nitrógeno.

Como conclusión de este experimento, se puede afirmar que las cepas del banco de AGROSAVIA promueven el crecimiento de los genotipos del frijol común, lo cual se refleja en el incremento de la masa seca de la parte aérea de la planta. Las más eficientes en la FBN son las cepas P17 y P22 en el genotipo 45 (CIAT HTA10-2); las C229 y P37 en el 48 (CIAT HTA14-1); las C229, P03, P22 Y P37 en el genotipo 56 (CIAT DAB295), y el inoculante comercial Rhizobiol® en el genotipo 77 (CIAT SMG22).

¿Cómo se aplica un inoculante comercial a base de rizobios en campo?

En Colombia, según reporte del ICA de noviembre de 2021, existen doce inoculantes comerciales basados en rizobios (tabla 7), de los cuales ocho son para el cultivo de soya (basados en *Rhizobium japonicum*, *B. japonicum* y *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli*), tres para el cultivo de arvejas (a base de *R. phaseoli*, *R. leguminosarum* y *B. japonicum*) y solo uno para el cultivo de frijol (basado en *R. phaseoli*) (Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], 2021).

Tabla 7. Inoculantes basados en rizobios registrados en Colombia

# producto	Ingrediente activo	Concentración microbiana	Tipo de formulación	Cultivos autorizados
1	<i>Rhizobium japonicum</i>	1×10^9 UFC/g	Sustrato sólido	Soya
2	<i>Bradyrhizobium japonicum</i>	1×10^4 UFC/mL	Líquido	Soya
3	<i>Bradyrhizobium japonicum</i>	1×10^9 UFC/g	Polvo	Soya
4	<i>Rhizobium phaseoli</i>	4×10 UFC/g	Polvo	Arveja
5	<i>Rhizobium phaseoli</i>	1×10^8 UFC/g	Polvo	Fríjol
6	<i>Rhizobium leguminosarum</i> bv. <i>phaseoli</i>	1×10^8 UFC/mL	Líquido	Soya
7	<i>Rhizobium leguminosarum</i>	1×10^8 UFC/g	Polvo	Arveja
8	<i>Bradyrhizobium japonicum</i>	2×10^9 UFC/g	Polvo	Soya
9	<i>Bradyrhizobium japonicum</i>	1×10^8 UFC/mL	Líquido	Soya
10	<i>Bradyrhizobium japonicum</i>	1×10^9 UFC/mL	Solución para tratar semillas	Soya
11	<i>Bradyrhizobium japonicum</i>	1×10^9 UFC/mL	Suspensión concentrada	Soya
12	<i>Bradyrhizobium japonicum</i>	5×10^7 UFC/mL	Concentrado soluble	Arveja

Fuente: Elaboración propia con base en bases de datos del ICA (2021)

La aplicación de estos inoculantes por lo general se lleva a cabo mediante la inoculación de la semilla. Sin embargo, existe otra forma de aplicación, menos recomendada, directamente en el surco. Para lograr una buena inoculación de la semilla es necesario tener en cuenta las siguientes indicaciones, que dependen de si el producto viene en polvo, si tiene turba negra como soporte o si es líquido (figura 43).



Foto: Jorge Abril

Figura 43. Formas más comunes de aplicar inoculantes basados en *Rhizobium*.

Fuente: Elaboración propia

Inoculación de rizobios con producto de formulación en polvo

Para inocular en formulación en polvo las cepas de rizobios en semillas de frijol común, se debe tener en cuenta el esquema de la figura 44.

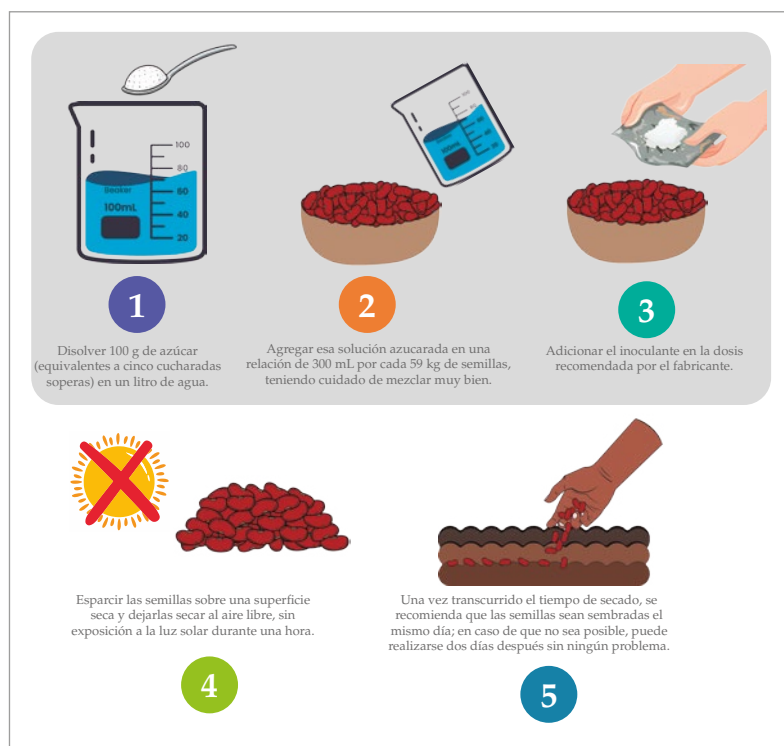


Figura 44. Inoculación de rizobios con producto de formulación en polvo.

Fuente: Elaboración propia

Por su parte, el inoculante líquido se debe utilizar como se indica en la figura 45.

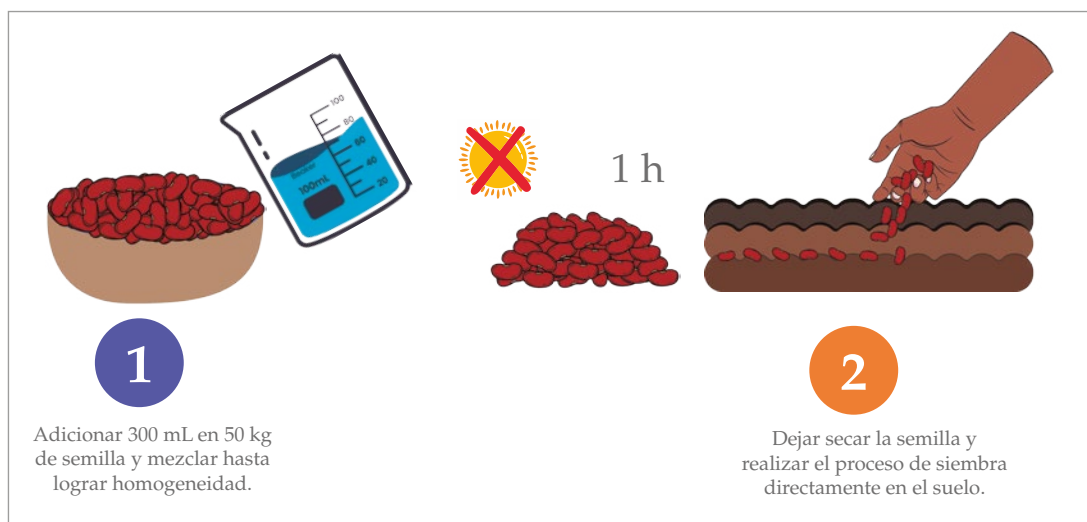


Figura 45. Inoculación de *Rhizobium* mediante producto de formulación líquida.

Fuente: Elaboración propia

***Azospirillum* sp., una bacteria asimbiótica como promotora de crecimiento de plantas**

Azospirillum es un género de rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal, perteneciente al filo Proteobacteria (Cassán et al., 2020), con capacidad de colonizar más de cien especies vegetales y contribuir a su desarrollo y productividad en campo (Bashan & De-Bashan, 2010), principalmente de la familia Poaceae (gramíneas como pastos y caña) y de otras especies de importancia agrícola y económica como el maíz y el sorgo, entre otras (Povinel, 2012), al fijar nitrógeno de forma endófito (Hungria, 2011).

Cuando *Azospirillum* sp. no está asociado con ninguna especie vegetal, actúa como microorganismo de vida libre en el suelo y puede fijar nitrógeno (Hungria, 2011). Dentro de este género, existen catorce especies identificadas: *A. lipoferum*, *A. brasilense*, *A. amazonense*, *A. halopraeferens*, *A. irakense*, *A. largomobile*, *A. doebereineriae*, *A. oryzae*, *A. melinis*, *A. canadense*, *A. zea*, *A. rugosum*, *A. piscis* y *A. thiophilum*. La especie *A. brasilense* es la más estudiada y producida como inoculante en términos de fisiología y genética (Cassán & Díaz-Zorita, 2016; Cassán et al., 2020).

Estas rizobacterias son reconocidas por fijar nitrógeno de forma endófito en el tejido de las gramíneas. En las asociaciones de esta familia no hay formación de nódulos como en las leguminosas; lo que ocurre es la colonización de la superficie o del interior de las raíces y de las partes aéreas de las plantas. En este sentido, la contribución de FBN que hace *Azospirillum* sp. en nutrición vegetal no es tan significativa, ya que las bacterias asociativas excretan una parte del nitrógeno fijado por la planta, y así

suplen parte del requerimiento de nitrógeno, en contraste con lo que ocurre en la simbiosis entre leguminosas y rizobios, donde el FBN es significativo (Hungria, 2011).

Otros mecanismos de promoción del crecimiento de plantas ampliamente reconocidos, efectuados por bacterias del género *Azospirillum*, son el aumento de la superficie de absorción de las raíces de las plantas y del volumen de sustrato del suelo explorado, lo que facilita una mayor absorción de agua y nutrientes (Cassán et al., 2020).

Inoculación de Azospirillum sp.: Los estudios muestran que este género promueve el crecimiento, el desarrollo y la productividad de diversos cultivos agrícolas (Bashan & De-Bashan, 2010; Dartora et al., 2016). Sin embargo, la respuesta a la inoculación con *Azospirillum* sp. depende del genotipo de la planta, la concentración y calidad de las células bacterianas utilizadas, las condiciones ambientales y las buenas prácticas agrícolas (Matsumura et al., 2015).

Dentro de este género, existen productos comerciales basados en la especie *A. brasilense* (Cassán & Díaz-Zorita, 2016), con bacterias recomendadas para maíz (Marini et al., 2015; Müller et al., 2016), trigo (Hungria, 2011), arroz (Hahn, 2013), sorgo, algodón, tabaco, avena blanca y lechuga (Cassán & Díaz-Zorita, 2016).

Técnica de coinoculación de rizobios y *Azospirillum brasilense* recomendada para frijol común

En 2016, la técnica de coinoculación de rizobios y *A. brasilense* comenzó a ser recomendada para especies leguminosas por la Red de Laboratorios para la Recomendación, Normalización y Difusión de Tecnología de Inoculantes Microbianos de Interés Agrícola (Relare). Esta técnica prometedora, que venía siendo explorada en Brasil, consiste en una mezcla de inoculantes comerciales que contienen estas dos PGPR.

Los beneficios de utilizar esta técnica se evidenciaron en los primeros estudios realizados con soya y frijol común, que mostraron incrementos en el crecimiento, el desarrollo y la productividad de los cultivos, en comparación con la inoculación individualizada de estas rizobacterias (Hungria et al., 2013). En frijol común, mediante la inoculación anual solo con *Rhizobium*, el incremento fue de 8,3 %, mientras que con la inoculación de *Rhizobium* y *Azospirillum* en el surco, el incremento fue de 19,6 %, lo que significa que el rendimiento fue de 11,3 % (Hungria et al., 2013).

Con esta técnica, los rizobios utilizan el mecanismo biológico de fijación de nitrógeno, mientras que *A. brasilense* usa como mecanismo promotor del crecimiento la producción de fitohormonas. Por tanto, la técnica de coinoculación se proyecta como promisorio para el establecimiento de los genotipos de frijol en condiciones del Caribe seco colombiano.

Técnica de coinoculación de rizobios y *Azospirillum brasilense*

Para la coinoculación en semillas de fríjol común de rizobios y *A. brasilense* se debe seguir la metodología propuesta en la figura 46.



Figura 46. Técnica de coinoculación de rizobios y *Azospirillum brasilense*.

Fuente: Elaboración propia

A lo largo del anterior capítulo se mostraron los conceptos y el detalle de los protocolos de evaluación y uso de componentes básicos para manejo sanitario y nutricional de cultivos de fríjol bajo los lineamientos espirituales del pueblo Kankuamo. Sin embargo, estos elementos no son suficientes para facilitar el empoderamiento de los jóvenes kankuamos que cursan la formación media.

Al respecto, existen algunas experiencias en el país que sustentan el modo en el que una especie modelo como el frijol puede servir de base para avanzar en pedagogía constructivista basada en análisis problémico del impacto ambiental del cultivo. El trabajo de Rochel Ortega et al. (2022) construyó estrategias pedagógicas enfocadas en el manejo sostenible de sistemas de producción de frijol que propician en el estudiante una formación sólida para interpretar, adaptar y desarrollar de forma crítica un conocimiento científico y tecnológico con enfoque diferencial.

Sin embargo, también es necesario definir la manera como estos conocimientos y prácticas se articularían en los contenidos curriculares y en el proyecto educativo “Makú Jogúki, ordenamiento educativo del pueblo indígena kankuamo”. Este proyecto busca la permanencia cultural propia mediante una visión de desarrollo en la que la formación de niños, niñas y jóvenes constituya un elemento ideológico que ayude al buen vivir. En el siguiente capítulo se describen las particularidades de este proyecto educativo indígena en su contenido y filosofía. También se propone una manera para que los elementos detallados en los capítulos I, II y III se integren al acervo de documentación de estudio con el énfasis agroindustrial y para que se evidencien las capacidades instaladas que se necesitan para adelantar las prácticas y evaluaciones incluidas en este texto.



Capítulo IV

Estrategia didáctica para el desarrollo de procesos biotecnológicos locales orientados a la producción agroecológica dentro del pueblo Kankuamo

El Resguardo Indígena Kankuamo es una institución legal y sociopolítica de carácter especial, habitado por una comunidad indígena con título de propiedad colectivo, cuyo territorio considera sagrado y sobre el cual edifica su organización política, su desarrollo y su identidad étnica y cultural. Dentro de su estructura de gobernanza, el cabildo gobernador preside la junta de Kankuama IPS, entidad que presta el servicio de salud a la comunidad. En materia sanitaria, la medicina tradicional basada en el uso de especies endémicas de la zona es fundamental (Caballero, 2019).

De acuerdo con lo anterior, en el Plan de Salvaguarda del pueblo Kankuamo radicado ante el Ministerio del Interior (Mininterior), Kankuama IPS aparece como responsable de coordinar las siguientes tareas: 1) en el programa 1, consolidar e implementar el modelo intercultural de salud; 2) en el proyecto 4, construir la infraestructura de salud adecuada en el territorio kankuamo para la articulación de la medicina tradicional y occidental, y 3) en las metas, implementar y poner en funcionamiento el modelo de salud consolidado participativamente, elaborar la propuesta del Sistema Indígena de Salud Propio Intercultural (SISPI) (un servicio de salud mejorado y acorde con la situación actual del pueblo Kankuamo) e implementar y poner a funcionar a nivel nacional este sistema (Ministerio del Interior [Mininterior], 2018).

El resguardo está conformado por doce comunidades (Guatapurí, Chemesquemena, Atánquez, Pontón, Las Flores, Mojao, La Mina, Ramalito, Los Haticos, Rancho de la Goya, Río Seco y Murillo), ubicadas en la vertiente suroriental de la Sierra Nevada, municipio de Valledupar, departamento del Cesar (Organización Nacional Indígena [ONIC], 2023).

Significado material e inmaterial del frijol y del buen vivir del ser kankuamo

La Sierra Nevada se formó al extenderse Serankua en forma de caracol o espiral a partir de la base hasta llegar a la cima de los nevados y en cada uno de los puntos cardinales (Dibulla, Pozo Hurtado, Camperucho y Gaira) colocó un hombre para que la sostuvieran, los cuales a su vez son los dueños ancestrales de la Sierra. Serankua

se casa con cuatro esposas que son las cuatro clases de tierra (negra, roja, blanca y amarilla) que recubren la Sierra, una vez que Serankua extendió por todas partes la Tierra Negra y fértil (Seynekun), esparció las semillas y hubo producción, pobló la tierra de los diferentes vegetales y animales que existen y finalmente de la unión de Serankua y Seynekun (la Tierra negra) creó las cuatro tribus indígenas que pueblan la Sierra Nevada: Iku, Kaggaba, Wiwa y Kankuama, les dio la Ley de Origen en la que se establecen las normas y costumbres propias que cada pueblo debe cumplir y en la que se tiene la responsabilidad de cuidarla y conservarla como nuestra Madre. (Mateus Arciniegas, 2016, p. 3)

Las prácticas de vida y alimentación forman parte del significado de ser kankuamo, ya que suplen las necesidades básicas, entendidas estas como un proceso que lleva en sí mismo una armonía con la naturaleza y con el medio donde se vive, y que posibilita el desarrollo de la identidad del sujeto kankuamo. De esta manera, los alimentos, las formas de producirlos, preservarlos, prepararlos e incluso nombrarlos, generan unos procesos de identidad dentro de la comunidad.

Bajo estos criterios, los miembros de la comunidad kankuama asumen la soberanía alimentaria como el derecho a producir y consumir los alimentos que consideran necesarios y suficientes para su dieta, y como un ejercicio de relación con el territorio.

Sin embargo, junto con el sentido de pertenencia del territorio y el valor agregado a la alimentación, se genera otro elemento que es producto del esfuerzo común de los kankuamos, que tiene que ver con la capacidad de compartir como comunidad el fruto del trabajo individual con la tierra y la producción de alimentos, y el cual brinda la posibilidad de transmitir a niños y niñas el don de colaboración que surge del territorio. Todo lo que se cosecha, se comparte en caso de necesidad, ya que la alimentación se entiende como una práctica destinada no solo a suplir una necesidad, sino también a preservar la comunidad y la cultura.

En el *Reporte especial* de semillas de 2020 se indicó que:

[...] las orientaciones de los Mayores y Mayoras para volver al origen, revitalizando y recuperando los saberes ancestrales en la siembra, cosecha y preparación de alimentos ancestrales; comparte informes sobre las iniciativas de trueques y mercados tradicionales que se vienen gestando en diferentes territorios del país, y hace eco de campañas actuales en defensa de nuestras semillas propias, autonomía y soberanía alimentaria. (ONIC, 2020, párr. 5)

Así, para la comunidad kankuama, el fríjol es una semilla que ha pasado de generación en generación y que es de vital importancia para la mayoría de los hogares porque es la principal fuente de proteína. En el territorio kankuamo se siembran diferentes variedades de fríjol y su cultivo es una tradición cultural fundamental que abarca desde guardar la semilla y sembrarla, hasta cosechar el alimento y consumirlo, y todo

esto se concibe como un proceso colectivo que revitaliza los vínculos sociales y la unión con la madre tierra. La comunidad también cuenta con un conocimiento tradicional relacionado con las plantas aromáticas y con su aporte al cuidado de la salud familiar y el control de plagas y enfermedades. Es por esta razón que los colegios étnicos de La Mina y Guatapurí cuentan con cultivos y extractores de aceite esencial destinados al trabajo con los estudiantes y a atender los requerimientos de los mamos y los médicos étnicos tradicionales.

El resguardo kankuamo, mediante la alianza con AGROSAVIA, busca que la innovación disponible en la producción de frijol se armonice con las directrices de la Ley de Origen y el Plan de Salvaguarda del pueblo Kankuamo (Mininterior, 2017). Sin embargo, esto exige un cambio en el acercamiento a la comunidad, para que los objetivos de usar la tecnología se correspondan con las nociones autónomas de desarrollo (López et al., 2022).

Por lo anterior, las estrategias de extensión agropecuaria deben ser fruto de un intercambio de saberes con las comunidades y de un diálogo profundo en el que se mida el impacto ambiental de la tecnología local de producción con los indicadores positivistas de la agroecología, y en el que, al mismo tiempo, se interprete el significado espiritual de cada una de las prácticas aplicadas en la elección de los cultivos y en el manejo de la unidad productiva agropecuaria. El fin de lo anterior debe ser identificar cuáles estrategias sustentables adaptables al entorno podrían incorporarse a la tecnología local y cuáles prácticas tradicionales que riñen con la vulnerabilidad actual del ecosistema podrían modificarse o mitigarse de acuerdo con el *Documento madre de la Línea Negra Jaba Séshizha* (Kogui-Malayo-Arhuaco, 2015). Este documento es el fruto de la autodeterminación de los pueblos hermanos de la Sierra Nevada y en él se establecen puntos de encuentro que permiten su inclusión en los esquemas de gobernanza nacional, ya que explica principios y fundamentos ancestrales de la Ley de Origen que sustentan la integralidad y la conexión material, espiritual, visible y no visible, inherente al ámbito de su territorio ancestral, expresado este último como la “Línea Negra” (MinCultura, 2017).

Al respecto, algunos estudios sobre flujo de información alrededor del manejo de cultivos en el pueblo Kankuamo indican que la mejor estrategia para difundir la innovación entre las familias es articular los centros de investigación y la academia con los colegios étnicos (Rozo Leguizamón et al., 2021).

Generalidades del pueblo Kankuamo

El pueblo Kankuamo habita las cuencas altas que alimentan el río Guatapurí, en la vertiente noroccidental de la Sierra Nevada de Santa Marta, jurisdicción del departamento del Cesar, principalmente en las veredas de Atánquez, Badillo, Chemesquemena, Guatapurí y Río Seco, municipio de Valledupar. Según datos de 2018, su población asciende a 16.986 individuos, de los cuales 88 % habita en el municipio de Valledupar,

30 % son menores de 14 años y 60 %, mayores de 15 y menores de 64 años. Del total poblacional 7,7 % son analfabetas y 36 % completó la educación secundaria (Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], 2019).

Las anteriores cifras dan cuenta de una población cuyo modelo económico se sustenta en la producción agrícola (Carvajalino, 2018). Esta población se ubica en una ecorregión con altos índices de diversidad biológica y lingüística por unidad de área (Rozo Leguizamón et al., 2021), con registros de deterioro ambiental por actividad antrópica (Huertas Díaz et al., 2017), alta susceptibilidad al cambio y variabilidad climáticas (Hoyos et al., 2019) y graves barreras de acceso a la innovación tecnológica disponible en el país para mitigar el impacto de los cambios ambientales sobre la productividad familiar y la conservación de semillas (Sanabria, 2017).

El anterior contexto constituye una alerta para la gobernanza nacional dadas las graves implicaciones ambientales y culturales del cambio climático para los pueblos indígenas de la Sierra Nevada (Huertas Díaz et al., 2017). Es necesario plantear estrategias sostenibles e interculturales de acompañamiento que articulen a los actores de interés con las autoridades propias, para disminuir los indicadores de impacto ambiental, mejorar la autonomía alimentaria del pueblo Kankuamo y la gestión social de la innovación, y ofrecer soluciones al conflicto entre crisis ecológica y conservación de las culturas tradicionales (Toledo Manzur, 2013).

El resguardo kankuamo, según lo dispuesto en los decretos 2164 de 1995 y 1953 de 2014, y la Resolución 0012 de 2003 del Instituto Colombiano de la Reforma Agraria (Incora) (posteriormente el Instituto Colombiano de Desarrollo Rural [Incoder] y en la actualidad la Agencia Nacional de Tierras [ANT]), es una institución legal y sociopolítica de origen colonial y de carácter especial, conformada por una comunidad o parcialidad indígena que, con un título de propiedad colectivo, posee su territorio que considera sagrado, sobre el cual construye su organización política, su desarrollo y su identidad étnica cultural. En su ámbito interno, el resguardo ha ejecutado proyectos como los siguientes:

- Convenio Interadministrativo 20150889 de 2015, suscrito entre el MADR (en representación de la nación) y el Cabildo del Resguardo Indígena Kankuamo, cuyo objeto es el “fortalecimiento de la producción agropecuaria y la comercialización” en el resguardo.
- Convenio Interadministrativo 1491 del 2018, suscrito entre la Unidad para la Atención y Reparación Integral a las Víctimas (UAEARIV) y el Resguardo Indígena Kankuamo, para la puesta en marcha del proyecto “Fortalecimiento de la soberanía alimentaria mediante la recuperación de la producción agropecuaria en el Resguardo Indígena Kankuamo, municipio de Valledupar, departamento del Cesar”.
- Contrato de Cooperación 3-1-94958-09, cuyo objeto es fortalecer la producción agropecuaria en el Resguardo Indígena Kankuamo para aumentar la producción de alimentos propios y mejorar los procesos organizativos en el territorio kankuamo.

El contrato fue suscrito entre BBVA Asset Management S. A. Sociedad Fiduciaria, quien actúa como vocero y administrador del patrimonio autónomo Findeter-Banco de Proyectos, y el Resguardo Indígena Kankuamo.

- La iniciativa Familia Kankuama, de 2018, eje para tejer la armonía del territorio mediante el fortalecimiento cultural, social y productivo propio.

Estas iniciativas evidencian el esfuerzo de la gobernanza del resguardo para alcanzar la autonomía alimentaria e incrementar la innovación en la producción primaria. Sin embargo, el pueblo Kankuamo se caracteriza por tener sistemas productivos destinados al autoconsumo y en menor medida a la comercialización en mercados locales y regionales. Este pueblo originario está expuesto a escasez alimentaria durante algunos periodos del año, debido a la baja aplicación de sistemas de riego suplementario, los cuales están supeditados a la regularidad y duración de los periodos lluviosos, y por tanto, sobre todo durante el primer semestre del año, la cosecha de cultivos transitorios es baja (López et al., 2022).

El ordenamiento educativo del pueblo indígena Kankuamo

En el pueblo Kankuamo, el ordenamiento educativo conocido como Makú Jogúki se considera un reflejo de los intereses y expectativas en la construcción de la sociedad, con una identidad cultural que lleva consigo sus raíces. La comunidad kankuama se diferencia del resto de la sociedad colombiana, de la misma manera como lo hacen otros pueblos indígenas; los kankuamos tienen como rasgo distintivo un carácter que se refleja en su pensamiento, en su toma de decisiones políticas y en toda su historia. En el I Congreso del Pueblo Indígena Kankuamo, se consideró que la educación fue impuesta por la sociedad nacional durante más de 500 años y que con ella se procuró imponer la aculturación. Para la comunidad, la educación es fundamental y debe ser transformada y valorada conforme a sus principios espirituales y culturales. En ese sentido, Makú Jogúki-OEK es un ordenamiento educativo fundamentado en la Ley de Origen que rige al pueblo Kankuamo y que busca articular la educación convencional con la propia, de forma que incluya aspectos espirituales, culturales y políticos, basados en la naturaleza, el conocimiento y los valores de la Sierra. Es así como se parte de los conocimientos propios para llegar al conocimiento intercultural del resto de la sociedad (OEK, 2008).

Fundamento de la educación propia

La educación propia del pueblo Kankuamo está fundamentada en la espiritualidad profunda, y en ella se considera que el hombre es parte de la naturaleza, la cual le transmite el contenido de su misión y el porqué de su existencia en la madre tierra. La educación es integral ya que contempla todos los ámbitos de la vida en la cultura, y asimismo es colectiva y está orientada a las autoridades tradicionales y sabios de la comunidad. En esta educación, las personas son guiadas por los sabios y abuelos,

quienes son ejemplo para seguir, mediante los rituales (pagamentos, ayunos y otros) y la palabra. Para ello, se usan espacios tradicionales y/o sitios sagrados o actividades del día a día como los diálogos, el canto, la danza, el trabajo, y de este modo se marca una diferencia con respecto a la educación de orden nacional. Por tanto, para los kankuamos la educación propia implica todo lo que se aprende de la misma naturaleza, el conocimiento transmitido por los sabios y que da cumplimiento a la Ley de Origen (OIK, 2008).

Enfoque de la madre naturaleza

Para los kankuamos, el conocimiento está en cada uno de los elementos de la madre naturaleza. Se adquiere por contacto directo y observación, se apoya en la perseverancia y la experiencia, tiene como base el respeto recíproco en la búsqueda del equilibrio hombre-naturaleza, y se fortalece con la tradición. La enseñanza parte de la experiencia. Existen conocedores de la tradición que son aptos para guiar al estudiante hacia el fortalecimiento de la cultura propia; esto quiere decir que la educación no debe estar reducida exclusivamente a licenciados (figura 47) (OIK, 2008).



Foto: Onésimo Triana

Figura 47. Sierra Nevada de Santa Marta.

Los espacios educativos no deben estar reducidos a un salón de clase, deben ser abiertos, en contacto con la naturaleza.

Tenemos que ser conscientes de que somos seres vivos y no tenemos seres inertes lo cual ha sido creado por la gente de occidente, porque para el pueblo indígena Kankuamo la relación hombre y naturaleza es una sola comprendida y aplicada con hechos y palabras; también entender el medio que nos rodea y la relación que se debe dar entre todos (padre-maestro y comunidad) y ante todo relacionar lo palpable, existente en el territorio como naturaleza. (OIK, 2008, p. 78)

Metodología

Se fundamenta en el consejo, la reflexión permanente acerca del entorno, la investigación y la socialización de los resultados. De esta forma se logra producir conocimiento teórico-práctico de manera participativa con los diferentes sectores de la comunidad.

Existe una herramienta que es un rasgo distintivo de la comunidad indígena: el trabajo colectivo. Este puede considerarse como ideología, estrategia económica, medio de socialización o mecanismo de recomposición, y su objetivo es la construcción del conocimiento y la recuperación tradicional. Además, debe entenderse dentro de la concepción de interrelación de todos los seres y la observación permanente de los ciclos naturales (figura 48) (OIK, 2008).



Foto: Onésimo Triana

Figura 48. Construcción colectiva de conocimiento.

Concepción de la investigación directa para el pueblo Kankuamo

Entendemos que investigar no es sacar información a los mayores para que quede escrita, hay muchas cosas escritas que la gente no entiende cuando está en el libro. La investigación en el sitio viene de la observación de la persona y no de lo que el docente mande a preguntar, así no se hace porque eso es de cada persona, del pensamiento. (OIK, 2008, pp. 81-82)

En ese sentido, para enseñar hay que tener sabiduría y conocimiento, una formación integral; el docente debe conocer la Ley de Origen, cómo se llega a los sitios sagrados, cómo se habla con los mayores y los mamos, lo que se puede preguntar y lo que se puede escribir y enseñar conforme a la edad del grupo que está formando. Por otra parte,

los estudiantes kankuamos deben convertirse en investigadores permanentes de su realidad y para ello deben ser guiados por los principios de investigación propios y la reflexión constante, para luego acceder a la investigación referencial y documental; la *investigación en el sitio* y de *fuentes directas* es, en palabras de los mayores, el primer paso en la formación del investigador Kankuamo [figura 49].

[...]

Acerca de la ley de origen, coincidimos en la búsqueda de una recopilación en cuanto a ¿cómo era el vivir del auténtico kankuamo? Debemos construir bases sólidas para continuar con el trabajo tradicional debido a la debilidad que causa la falta de mamos, sagas y gente que oriente a la comunidad para que se involucren en el proceso [figura 50]. (OIK, 2008, p. 82).



Foto: Onésimo Triana

Figura 49. Talleres de construcción de conocimiento en el colegio étnico San Fernando de Río Seco.



Foto: Onésimo Triana

Figura 50. Cultivos establecidos en el colegio étnico San Fernando de Río Seco.

El trabajo práctico experimental

El recorrido histórico de la enseñanza de las ciencias naturales mediante la práctica experimental y las competencias del área a nivel mundial muestra un sinnúmero de posturas, documentos y estudios que reflejan la importancia de crecer a nivel educativo y que evidencian la crisis que atraviesa la sociedad educativa actual en relación con este aspecto. Actualmente, en muchas instituciones educativas el trabajo práctico experimental es poco frecuente en el aula, y lo que se logra llevar a cabo, se aborda como una “receta de cocina” o es presentado por el docente como algo que los estudiantes solo pueden ver de lejos. En las escuelas se desaprovecha la potencialidad didáctica que brinda el trabajo práctico y con ello se limita el carácter significativo de los contenidos, ya que los espacios experimentales ayudan a construir conocimientos científicos y permiten desarrollar las competencias del área (Pachón, 2019).

Salamanca Meneses y Hernández Suárez (2018) advierten que la enseñanza de las ciencias no debe restringirse a un acto de memorización temática. Por el contrario, es importante crear espacios que produzcan en los estudiantes preguntas y respuestas que lleven a la controversia, la experimentación y la crítica, para así propiciar un conocimiento del mundo con ojos científicos y provocar la búsqueda, la duda y la verificación de nuevos conocimientos. Esta problemática general se encuentra íntimamente ligada a la enseñanza por competencias, ya que la misma sociedad requiere no solo una simple repetición de conceptos, sino también una formación que permita desenvolverse en un mundo cotidiano competitivo (figura 51).



Foto: Onésimo Triana

Figura 51. Instalaciones del colegio étnico San Fernando de Río Seco, en armonía con la naturaleza.

Estrategia didáctica para la enseñanza de la producción sostenible de frijol en el territorio kankuamo

Esta estrategia se divide en cinco capítulos con actividades de aprendizaje relacionadas con la producción sostenible de frijol en el Caribe seco. Dichos capítulos fueron diseñados intencionalmente para tener una duración bimestral y sus títulos se corresponden con la división del presente libro:

- *Capítulo I:* Producción agrícola de frijol común en el Caribe colombiano: las limitantes del monocultivo y las posibilidades del policultivo basado en frijol.
- *Capítulo II:* Aspectos fitotécnicos básicos de especies PAMCyA promisorias para el Caribe.
- *Capítulo III:* Estrategias promisorias de producción agroecológicas de frijol en el Caribe seco colombiano compatibles con la cosmogonía kankuama.
- *Capítulo IV:* Estrategia didáctica para el desarrollo de procesos biotecnológicos locales orientados a la producción agroecológica dentro del pueblo Kankuamo.
- *Capítulo V:* Consideraciones finales sobre tecnología y territorio.

Las sesiones incluirían actividades de aprendizaje orientadas al desarrollo gradual de los siguientes procedimientos: identificar y controlar variables, utilizar instrumentos de medición, registrar datos sistemáticamente, identificar patrones y tendencias en información registrada, organizar y reportar datos mediante tablas y gráficas.

El colegio étnico de Guatapurí, en el Resguardo Indígena Kankuamo, está equipado con laboratorios que incluyen un extractor de aceites esenciales de 5 kg, el cual permite desarrollar evaluaciones para identificar el potencial biotecnológico de las plantas medicinales referenciadas por los mayores. De acuerdo con lo anterior, es prioritario elaborar documentos que le permitan al pueblo Kankuamo el desarrollo autónomo de las capacidades de los jóvenes, para innovar en el manejo sostenible de los cultivos que sustentan la pervivencia de las comunidades, como el frijol y las plantas aromáticas y medicinales. De esta manera podría aprovecharse mejor el enfoque agroindustrial del colegio étnico, que respalda la educación propia con espacios de campo, invernadero, equipos y materiales, los cuales permitirían desarrollar las metodologías que se desglosan en los siguientes capítulos (figuras 52, 53).



Foto: Onésimo Triana

Figura 52. Extractor de aceites esenciales en colegio étnico de Guatapurí. a. Recepción de materia prima; b. Análisis de laboratorio; c. Procesamiento en equipos de alta tecnología.

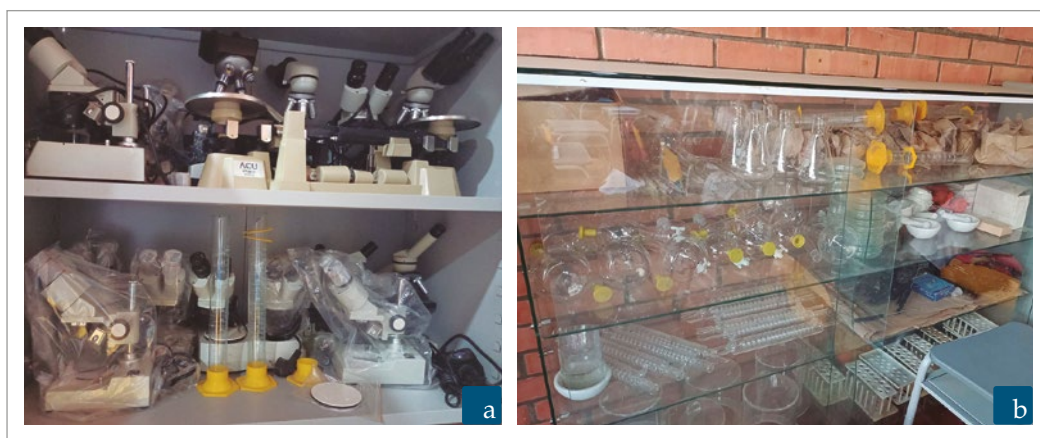


Foto: Onésimo Triana

Figura 53. Equipamiento del laboratorio en el colegio étnico San Fernando de Río Seco. a. Microscopía y balanzas; b. Material de vidrio volumétrico y no volumétrico.

El v Congreso del Pueblo Indígena Kankuamo ratificó el mandato de la pervivencia física, cultural y espiritual de todos los miembros de este pueblo en el territorio ancestral y fuera del mismo. Lo anterior implica un compromiso continuo con procesos de desarrollo comunitario que respondan a las necesidades, objetivos e intereses de la comunidad, en especial con los que faciliten los emprendimientos de los jóvenes en el territorio, para evitar la migración a otras zonas, y con los que propicien modos de vida propios basados en la producción agropecuaria, las artesanías y la agroindustria de productos propios (figura 54). De acuerdo con lo anterior, en el siguiente capítulo se esbozan los desafíos de la producción agroecológica de frijol y de sus modelos agroecológicos de producción en el resguardo. Se aborda también su vínculo con los colegios étnicos que cuentan con énfasis agroindustrial, con equipamiento para extracción de aceites esenciales y con laboratorios básicos, todo lo cual permite avanzar en la madurez tecnológica e identificar potenciales bioinsumos para desarrollar con entidades aliadas del sector académico o con centros de investigación. Finalmente, el capítulo describe el alcance del presente libro y sus expectativas de uso.

V Congreso Indígena del Pueblo Kankuamo



Fotos: Adriana Tofino y Onésimo Triana

Figura 54. Participación de AGROSAVIA en el v Congreso Indígena del Pueblo Kankuamo, Atánquez, 16 al 20 de diciembre de 2020.

Fuente: Elaboración propia.



Actualmente se vive una tensión entre la conservación de los ecosistemas terrestres y la producción de alimento con calidad integral. Este conflicto es altamente relevante en el Caribe colombiano, donde se presentan zonas en las que confluyen alta biodiversidad y riqueza cultural, pero con bajos indicadores de tecnología y capacidad instalada. La región también es vulnerable al cambio climático, según proyecciones, por lo cual la producción de alimento con alto valor nutricional y bajo consumo hídrico es fundamental.

Por tanto, de acuerdo con las recomendaciones de la misión de sabios y las posibilidades de la cuarta revolución industrial, es necesario empoderar a las comunidades con conocimiento, a fin de que puedan aplicar tecnologías informáticas y la biotecnología, para el aprovechamiento circular de la biomasa, la optimización del consumo de agua y para limitar la dependencia de los combustibles fósiles y la industria petroquímica.

Los resultados expuestos en este documento animan a los grupos de interés de la economía campesina, familiar y comunitaria (ECFC) a aunar esfuerzos para que las tecnologías generadas por los centros de investigación y la academia lleguen al territorio de los pueblos ancestrales, con el fin de mejorar los indicadores de impacto ambiental, la biodiversidad en el agroecosistema, la huella de carbono y la inocuidad. Al respecto, la prospección de plantas aromáticas constituye una oportunidad relevante en la región para consolidar emprendimientos solidarios, en los que la integración de las acciones de la academia, el sector privado y el Estado facilitaría un rápido retorno social de las inversiones en sistemas de transformación de bajo costo, con el objetivo de incrementar la competitividad del sector hortofrutícola, el cual cuenta con gran vocación entre grupos étnicos y afrodescendientes locales, pero tiene bajos indicadores de calidad.

Este documento se enfoca en el frijol común y en otras hortalizas. En particular, la leguminosa es fundamental para la autonomía alimentaria del país, y en el Caribe forma parte de un sistema complejo de rotaciones y de cultivos asociados con otras especies hortofrutícolas de mayor valor comercial como la berenjena (figura 55). En este sentido, los resultados de evaluaciones experimentales de nuevos genotipos derivados de cruces entre frijol común y especies silvestres relacionadas reflejan las

posibilidades de siembra exitosa del fríjol común en zonas planas del Caribe con sequía estacional, ya que el nuevo germoplasma presenta menor efecto de la temperatura nocturna zonal sobre la viabilidad del polen, lo que resulta en una mayor formación de vainas (figura 56). Dicha siembra es altamente retadora en esta zona pues la baja materia orgánica del trópico bajo colombiano exige el uso de fertilización química o la diseminación de protocolos basados en fertilización orgánica, como se pretende con la aplicación de las recomendaciones de este texto.

Adicionalmente, las condiciones de estrés por calor y sequía estacional que se presentan en las zonas planas del Caribe colombiano afectan la respuesta fisiológica de las plantas y por tanto generan efectos negativos en la productividad por unidad de área. De acuerdo con lo anterior, se plantea que es necesario no solamente obtener variedades de fríjol y hortalizas en general más adaptadas a estas condiciones, sino también, y de manera complementaria, desarrollar sistemas productivos que disminuyan el efecto de los limitantes ambientales, que faciliten el manejo sanitario con baja dependencia de agroinsumos y que potencialicen la actividad microbiana y la calidad integral del suelo.

Los resultados exploratorios presentados en este documento corresponden a experiencias exitosas en condiciones semicontroladas presentes en el Caribe colombiano para la promoción de parcelas agrodiversas basadas en fríjol, hortalizas y plantas aromáticas (figuras 55 y 56). La promoción de las parcelas biodiversas concuerda con las necesidades transversales del Pectia y con los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) en el país. Sin embargo, se requiere la generación de una amplia gama de bioinsumos que responda a las necesidades de cada zona agroecológica y las particularidades de cada sistema productivo.

El alcance de este tipo de desarrollos cubre unas etapas de desarrollo definidas o un nivel de madurez tecnológica (TRL) de determinadas tecnologías, que inician desde la prueba concepto y continúan con el desarrollo, el cambio de escala, el ajuste, el registro ante el ICA y el trámite de patente de método o utilidad —cuando aplica— ante la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC). En alguna medida, el desconocimiento del paso a paso que se debe surtir para desarrollar bioinsumos distribuibles a nivel nacional podría influir en la baja tasa de iniciativas que en esta temática se manejan en el ecosistema científico del Caribe seco. También resulta relevante anotar la baja participación de los pueblos ancestrales en este tipo de proceso, a pesar de que, desde el periodo prehispánico, se utilizan extractos de plantas, purines y exudados para el control natural de plagas y enfermedades.

Este conocimiento, que ha propiciado la bioeconomía, no ha sido considerado aún en este tipo de escenarios, en buena parte debido a que los laboratorios y biofábricas regularmente se han ubicado en la academia y en centros de investigación. Sin embargo, el pueblo Kankuamo se materializa como un ejemplo de autonomía, con capacidad instalada para que estas dinámicas de bioprospección de biodiversidad sean gestadas y

desarrolladas por las mismas comunidades, de la mano de instituciones aliadas como AGROSAVIA. Estas entidades están dispuestas a reevaluar la jerarquía del saber formal sobre el tradicional y avanzar en innovaciones híbridas científico-tecnológicas, fruto de la virtuosa amalgama construida participativamente entre las comunidades, las autoridades espirituales y los técnicos con formación en agroecología y biotecnología.



Foto: Jorge Abril

Figura 55. Plantación de berenjena establecida en el sistema multiestrato de hortalizas del CI Motilonia, Codazzi, Cesar.



Fotos: Jorge Abril

Figura 56. Plantación de fríjol establecida en el sistema multiestrato de hortalizas del CI Motilonia, Codazzi, Cesar. a. Genotipo de fríjol común sensible a las altas temperaturas nocturnas, que evidencia un excelente desarrollo de biomasa sin producción de vainas; b. Genotipo de fríjol común con alta adaptación a zonas planas del Caribe seco, reflejado en la productividad de vainas.

Al respecto, como soporte conceptual de la viabilidad de los biofertilizantes basados en microorganismos benéficos, se presentan algunos registros internacionales exitosos, al igual que bioproductos basados en aceites esenciales que, de la mano de estrategias sanitarias preventivas y prácticas de manejo conservadoras y recuperadoras de la salud del suelo, pueden constituir un modelo productivo agroecológico para el sistema de cultivo del frijol en zonas secas del Caribe. Los nuevos desarrollos de bioinsumos basados en la diversidad etnobotánica regional también constituyen una oportunidad de dinamización de las economías locales en la periferia del país. Estas zonas, tradicionalmente excluidas, han generado procesos de resistencia en los que la tecnología deja de ser un elemento aculturador cuando son las mismas comunidades, desde su autonomía, las que plantean sus objetivos de desarrollo. En el caso de la etnia kankuama, la necesidad de generar productos de mayor calidad para la medicina tradicional propició que Kankuama IPS donara extractores de aceite esencial para que las investigaciones en los colegios fueran realizadas por estudiantes y docentes, a fin de que, tal como lo indica el actual cabildo gobernador del resguardo indígena, “el modelo educativo kankuamo se encamine hacia la excelencia educativa nacional, enfocándose en la mejora continua del índice sintético de calidad educativa (ISCE)” (OIK, 2016, 2021).

Al respecto, este documento, construido colaborativamente con miembros de la etnia, posibilitará aprovechar integralmente la capacidad instalada educativa y la diversidad de aplicaciones de los aceites esenciales propios de la cultura kankuama puestos en articulación, en el manejo de otra especie de alto valor material e inmaterial como es el frijol.

No es fortuita la selección del frijol como cultivo para aplicar los lineamientos de la metodología híbrida para la vinculación científico-tecnológica de las etnias, ya que se tuvo en cuenta el arraigo material e inmaterial que tiene esta especie, relevante en la alimentación propia y en los ritos ceremoniales de los pueblos ancestrales de la Sierra Nevada de Santa Marta. La búsqueda de modelos de innovación híbrida para la producción agroecológica en frijol responde a las demandas que esta población plantea a las entidades del sector agropecuario.

Finalmente, esta propuesta de acciones de colaboración transdisciplinaria para la sustentabilidad (CTS) (Merçon, 2022), basada en la producción biodiversa de alimentos propios, en la integración de objetivos planteados por la mismas comunidades, en elementos culturales y espirituales, así como en el acompañamiento técnico de emprendimientos de agroindustria rural, se presenta como una respuesta desde el quehacer de los centros nacionales de investigación para limar las aristas de la confrontación entre, por un lado, el modelo de desarrollo del país (que impulsa una producción empresarial altamente tecnificada y comercial, y cuyos beneficios económicos irradian de manera inequidativa a los diferentes sectores de la sociedad), y por otro lado, la producción indígena ancestral, orientada a la producción comunitaria de alimentos propios, al desarrollo de nuevas opciones económicas para

los jóvenes y a la búsqueda permanente y continua de un buen vivir, del vivir bien o de una vida buena para todos sus miembros, semejante a la de sus ancestros (López López et al., 2021).

En este mismo sentido, el planteamiento anterior cobra alcance político cuando se otorga voz a los subordinados, se da paso al respeto de sus escenarios de vida en el Plan Nacional de Desarrollo (PND) “Colombia potencia mundial de la vida”, y se fundamenta la humanización de la política pública como expresión de la justicia territorial, lo que constituye un compromiso de los acuerdos de La Habana para la construcción de la paz en Colombia (Jiménez-Martín, 2016). Al respecto, este documento, escrito a varias manos con docentes kankuamos, materializa la alineación de AGROSAVIA con los ejes del PND: transformación productiva, internacionalización y acción climática, y convergencia regional.

Las capacidades en recurso humano especializado que se consolidarán a partir de la aplicación de las metodologías descritas en los colegios de educación media permitirán a las autoridades del resguardo adelantar alianzas más equitativas con entidades aliadas del sector académico regional como Universidad Nacional (UNAL), Universidad Libre (Unilibre), Universidad de Cartagena (UdeC) y AGROSAVIA, entre otras, para el desarrollo de planes estratégicos conducentes al registro de potenciales bioinsumos basados en el aprovechamiento de su biodiversidad.



Referencias

- Acero Godoy, J., Guzmán Hernández, T. J., Sánchez Leal, L. C., Sánchez Mora, R. M., Cruz Catiblanco, G. N., Delgado-Ávila, W. A., & Gil Archila, E. (2021). Efecto de los aceites esenciales de *Cymbopogon citratus* (DC.), *Stapf* (limonaria) y *Lippia alba* (Mill.) N.E.Br. ex Britton & P. Wilson (pronto alivio) sobre *Xanthomonas axonopodis* y *Ralstonia* sp. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 25(4). 12-21. <http://www.revplantasmedicinales.sld.cu/index.php/pla/article/view/1085>
- Acosta de Guevara, E., & Molina Castillo, A. (2019). *Aplicabilidad biotecnológica de aceites esenciales de Lippia alba* [Tesis de maestría, Universidad Libre de Barranquilla, Colombia]. <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/17821>
- Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional [USAID]. (2013). *Manual de producción de frijol*. <https://dicta.gob.hn/files/2012,-manual-de-produccion-de-frijol,-G.pdf>
- Aguilar Ramírez, J. O., Gallegos Morales, G., Hernández Castillo, F. D., Cepeda Siller, M., & Sánchez-Aspeytia, D. (2019). Incidencia y severidad del tizón común en plantas de frijol inoculadas con *Rhizobium phaseoli*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(2), 325-336. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i2.1594>
- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2017). The adaptation and mitigation potential of traditional agriculture in a changing climate. *Climatic Change*, 140(1), 33-45. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0909-y>
- Álvarez-Martínez F. J., Barraón-Catalán E., Herranz-López, M., & Micol, V. (2021). Antibacterial plant compounds, extracts and essential oils: An updated review on their effects and putative mechanisms of action. *Phytomedicine*, 10(16), 153626. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2021.153626>
- Andrade-Bustamante, G. M., García-López, A. M., Cervantes-Díaz, L., Aíl-Catzim, C. E., Borboa-Flores, J., & Rueda-Puente, E. O. (2017). Estudio del potencial biocontrolador de las plantas autóctonas de la zona árida del noroeste de México: control de fitopatógenos. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 49(1), 127-142. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1853-86652017000100011&lng=es&tlng=
- Andrango-Quisaguano, A. M. (2017). *Uso de extractos de penco azul (Agave americana) y hongos de sombrero (Strobilurus tenacellus) como preventivos del tizón tardío (Phytophthora infestans) en el cultivo de papa (Solanum tuberosum) variedad chaucha amarilla*. [Tesis de maestría, Universidad Técnica de Ambato, Ecuador]. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/26385>

- Ángeles-Núñez, J. G., & Cruz-Acosta, T. (2015). Aislamiento, caracterización molecular y evaluación de cepas fijadoras de nitrógeno en la promoción del crecimiento de frijol. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(5), 929-942. <https://doi.org/10.29312/remexca.v6i5.588>
- Angulo, V. C., Sanfuentes, E. A., Rodríguez, F., & Sossa, K. E. (2014). Caracterización de rizobacterias promotoras de crecimiento en plántulas de *Eucalyptus nitens*. *Revista Argentina de Microbiología*, 46(4), 338-347. [https://doi.org/10.1016/S0325-7541\(14\)70093-8](https://doi.org/10.1016/S0325-7541(14)70093-8)
- Arango Bedoya, Ó., Bolaños, F., Villota, Ó., Hurtado, A., & Toro, I. (2012). Optimización del rendimiento y contenido de timol del aceite esencial de orégano silvestre obtenido por arrastre con vapor. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 10(2), 217-226. <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotechnologia/article/view/816>
- Araya, R., & Hernández, J. C. (2010). *Protocolo para la producción local de semilla de frijol*. http://www.mag.go.cr/acerca_del_mag/programas/pitta-frijol-Protocolo-semillas.pdf
- Argueta Rodríguez, M. A., Morales Carías, I. M., & Pérez Escobedo, C. (2018). *Reutilización de desechos orgánicos y papel higiénico para fabricación de abono tipo bocashi y lombricompost y manejo de productos de protección higiénica femenina utilizando comportamientos con sales de amonio cuaternario*. <http://repositorio.uvg.edu.gt/xmlui/123456789/3467>
- Arias, L. (2017). *Reconfiguración territorial del pueblo Kankuamo (1991-2015)* [Tesis de pregrado, Universidad Externado de Colombia]. <https://bdigital.uexternado.edu.co/server/api/core/bitstreams/3da23bb0-d724-4666-8e11-83a89c93687f/content>
- Aserse, A. A., Markos, D., Getachew, G., Yli-Halla, M., & Lindström, K. (2020). Rhizobial inoculation improves drought tolerance, biomass and grain yields of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and soybean (*Glycine max* L.) at Halaba and Boricha in Southern Ethiopia. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 66(4), 488-501. <https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1624724>
- Asociación Hortifrutícola de Colombia [Asohofrucol]. (2017). *Informe de gestión año 2017*.
- Asociación Hortifrutícola de Colombia [Asohofrucol]. (2018). *Informe de gestión año 2018*.
- Astani, A., Reichling, J., & Schnitzler, P. (2009). Comparative study on the antiviral activity of selected monoterpenes derived from essential oils. *Phytotherapy Research*, 24(5), 673-679. <https://doi.org/10.1002/ptr.2955>
- Baldotto, M. A., & Borges Baldotto, L. E. (2014). Ácidos húmicos. *Revista Ceres*, 61 (suplemento), 856-881. <https://doi.org/10.1590/0034-737x201461000011>
- Barrientos, J. C., Reina, M. L., & Chacón, M. I. (2012). Potencial económico de cuatro especies aromáticas promisorias para producir aceites esenciales en Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 6(2), 225-237. <https://doi.org/10.17584/rcch.2012v6i2.1979>
- Barrios, P. C., & Álvarez, T. P. (2016). *Caracterización agroambiental de sistemas de producción de maíz y frijol en Colombia* [Documento de trabajo CCAFS n.º 184]. Programa de investigación de CGIAR en Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria (CCAFS).

- Barros Dobbs, L., Pasqualoto-Canellas, L., Lopes Olivares, F., Oliveira-Aguiar, N., Pereira-Peres, L. E., Azevedo, M., Spaccini, R., Piccolo, A., & Façanha, A. R. (2010). Bioactivity of chemically transformed humic matter from vermicompost on plant root growth. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(6), 3681-3688. <https://doi.org/10.1021/jf904385c>
- Bashan, Y., & De-Bashan, L. E. (2010). *Principalmente da família Poaceae (gramíneas) de importância agrícola e econômica, fixando nitrogênio endofiticamente*.
- Bedoussac, L., Journet, E. P., Hauggaard-Nielsen, H., Naudin, C., Corre-Hellou, G., Prieur, L., Jensen, E. S., & Justes, E. (2013). Los cultivos asociados de cereales y de leguminosas: una forma de aumentar la productividad y la calidad de los cereales en agricultura ecológica. *Agricultura y Ganadería Ecológica*, 14(3), 24-26.
- Bedoya Serna, C. M., Dacanal, G. C., Fernandes, A. M., & Pinho, S. M. (2018). Actividad antifúngica de las nanoemulsiones: aceite esencial de orégano encapsulado (*Origanum vulgare*): estudio *in vitro* y aplicación en queso Minas Padrão. *Brazilian Journal Microbiology*, 49(4), 929-935. <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2018.05.004>
- Beebe, S., Ramírez, J., Jarvis, A., Rao, I. M., Mosquera, G., Bueno, G. M., & Blair, M. (2011). Mejora genética del frijol común y los desafíos del cambio climático. En S. S. Yadav, R. Redden, J. L. Hatfield, H. Lotze-Campen & A. Hall, *Adaptación de cultivos al cambio climático* (pp. 356-369). John Wiley & Sons Inc.
- Bernal, G. (2010). Las buenas prácticas agrícolas (BPA) desde la perspectiva de la microbiología de suelos. En *XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo* (pp. 17-19).
- Bernardes, J. M., Reis, J. M. R., & Rodrigues, J. F. (2011). Efeito da aplicação de substância húmica em mudas de tomateiro. *Global Science and Technology*, 4(3), 92-99.
- Bianco, L. (2020). Principales aspectos de la nodulación y fijación biológica de nitrógeno en fabáceas. *Idesia (Arica)*, 38(2), 21-29. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292020000200021>
- Blanco, P., López Saldaña, G., Colditz, R., Hardtke, L., Mari, N., Fischer, A., Caride, C., Aceñaloza, P., del Valle, H., Opazo, S., Sione, W., Lillo-Saavedra, M., Zamboni, P., Anaya, J., Morelli, F., & 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.
- Bonilla, C. R., Sánchez Orozco, M. S., Delgado Ospina, J., Zambrano, E. L., Buitrago, L. A., & Castro, D. F. (2013). *Descripción botánica, manejo del cultivo y poscosecha de Lippia alba (Mill.) N. E. Brown ex Britton & P. Wilson*. Universidad Nacional de Colombia. https://www.researchgate.net/publication/324673163_Descripcion_botanica_manejo_del_cultivo_y_poscosecha_de_Lippia_alba_MILL
- Brenes, C. (2010). *El Niño 2009-2010: evaluación preliminar de sus impactos sobre el sector agropecuario centroamericano* [Informe]. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).
- Caballero, N. (2019). *Modelo de salud propio intercultural Kankuamo: autonomía política indígena e interculturalidad en el pueblo indígena Kankuamo de la Sierra Nevada de Santa Marta*. Pontificia Universidad Javeriana. <http://hdl.handle.net/10554/46648>
- Canellas, L. P., Olivares, F. L., Aguilar, N. O., Jones, D. L., Nebbioso, A., Mazzei, P., & Piccolo, A. (2015). Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 15-27. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.013>

- Canellas, L. P., Dantas, D. J., Aguiar, N. O., Peres, L. E. P., Zsögön, A., Olivares, F. L., Dobbss, L. B., Facanha, A. R., Nebbioso, A., & Piccolo, A. (2011). Probing the hormonal activity of fractionated molecular humic components in tomato auxin mutants. *Annals of Applied Biology*, 159(2), 202-211. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2011.00487.x>
- Canellas, L., & Olivares, F. (2014). Physiological responses to humic substances as plant growth promoter. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 1, 1-11. <https://doi.org/10.1186/2196-5641-1-3>
- Capelesso, D., Torres-Da Costa, A. C., & Barbosa-Duarte, J. (2019). Nitrogen fertilization and inoculation of seeds with *Rhizobium tropici* on the agronomic performance of common beans. *Journal of Experimental Agriculture International*, 40(1), 1-9. <https://doi.org/10.9734/jeai/2019/v40i130354>
- Cardona, J., & Barrientos, J. (2012). Producción, uso y comercialización de especies aromáticas en la región Sumapaz, Cundinamarca. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 5(1), 114-129. <https://doi.org/10.17584/rcch.2011v5i1.1258>
- Cardona Ortiz, J. (2019). *Estudio de insectos visitantes florales y posibles polinizadores en parcelas destinadas a la promoción del uso de dos materiales vegetales de AGROSAVIA, el sorgo dulce Corpoica JJT-18 y el frijol biofortificado Corpoica Rojo 39 en el CI Nataima, El Espinal* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira]. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/36698>
- Cardoso, A. A., Andraus, M. P., De Oliveira Borba, T. C., Garcia Martin-Didonet, C. C., & Brito Ferreira, E. P. (2017). Characterization of rhizobia isolates obtained from nodules of wild genotypes of common beans. *Brazilian Journal of Microbiology*, 48(1), 43-50. <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2016.09.002>
- Carrero, M. G., Cardoso, R., Lia, M. V., & Sabino, M. A. (2019). Síntesis y caracterización de un novedoso biomaterial a base de quitosano modificado con aminoácidos. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 24(3), e-12397. <https://doi.org/10.1590/s1517-707620190003.0710>
- Carrillo, Y. A., Gómez, M. I., Cotes, J. M., & Núñez, C. E. (2010). Efecto de algunos aceites esenciales sobre el crecimiento de *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary en condiciones de laboratorio. *Agronomía Colombiana*, 28(2), 245-253. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/18068>
- Carvajalino, A. (2018). Territorio e identidad en la Sierra Nevada de Santa Marta (Colombia). *Revista Latina de Sociología Relaso*, 8(3), 94-112. <https://doi.org/10.17979/relaso.2018.8.3.3348>
- Cassán, F., Coniglio, A., López, G., Molina, R., Nieves, S., Le Noir de Carlan, C., Donadio, F., Torres, D., Rosas, S., Oluvera Pedrosa, F., De Souza, E., Díaz Zorita, M., De Bashan, L., & Mora, V. (2020). Todo lo que debe saber sobre *Azospirillum* y su impacto en la agricultura y más allá. *Biology and Fertility of Soils*, 56, 461-479. <https://doi.org/10.1007/s00374-020-01463-y>
- Cassán, F., & Díaz-Zorita, M. (2016). *Azospirillum* sp. in current agriculture: From the laboratory to the field. *Soil Biology and Biochemistry*, 103, 117-130. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.08.020>

- Castellano Hinojosa, A., Contreras-Medrano, V., & Bedmar, E. (2016). Utilización de plantas leguminosas en restauración medioambiental de taludes y suelos degradados. *Mol Sociedad de Ciencia de Galicia*, 1(16), 48-59. https://www.researchgate.net/publication/311675960_Utilizacion_de_plantas_leguminosas_en_restauracion_medioambiental_de_taludes_y_suelos_degradados
- Castillo, R. M., Stashenko, E., & Duque, J. E. (2017). Insecticidal and repellent activity of several plant-derived essential oils against *Aedes aegypti*. *Journal of the American*, 33(1), 25-35. <https://doi.org/10.2987/16-6585.1>
- Castresan, J. E., Rosenbaum, J., & González, L. A. (2013). Estudio de la efectividad de tres aceites esenciales para el control de áfidos en pimiento, *Capsicum annuum* L. *Idesia*, 31(3), 49-58. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292013000300007>
- Centre for the Promotion of Imports from developing countries [CBI]. (2018). *Exporting. essential oils for food to Europe*. <https://www.cbi.eu/market-information/natural-food-additives/essentials-oils-food/>
- Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria [CEDRSSA]. (2020). *Mercado del frijol, situación y perspectivas*. http://www.cedrssa.gob.mx/post_n-mercado-n-del_n-frijol-n-_situacinin_y_prospectiva.htm
- Cisterna, V., & Sepúlveda, G. (2015). Efficiency of an enzymatic detergent in the control of *Praelongorthezia olivicola* (Beingolea) (Hemiptera: Ortheziidae) in the Northern Chile. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 47(2), 213-218. <http://www.scielo.org.ar/pdf/refca/v47n2/v47n2a16.pdf>
- Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación [UNCCD]. (2017). *Perspectiva global de la tierra* (1.^a edición). https://www.unccd.int/sites/default/files/documents/2017-09/GLO_Full_Report_low_res_Spanish.pdf
- Corona-Jiménez, E., Martínez-Navarrete, N., Ruiz-Espinosa, H., & Carranza-Concha, J. (2016). Extracción asistida por ultrasonido de compuestos fenólicos de semillas de chía (*Salvia hispanica* L.) y su actividad antioxidante. *Agrociencia*, 50(4), 403-412. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952016000400403
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [Corpoica]. (2015). *Informe final red de hortalizas del proyecto “Desarrollo de sistemas productivos basados en especies aromáticas y medicinales en asociaciones agroecológicas con variedades mejoradas de hortalizas (ají, frijol y berenjena) para suelos degradados del Caribe”*.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA]. (2021a). *Informe año 1 proyecto id 1001513, “Obtaining commercial and peasant market varieties of drought tolerant beans under sustainable production systems in the Colombian Caribbean”*.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA]. (2021b). *Protocolo de diagnóstico y monitoreo in situ de indicadores de calidad de suelo para el cultivo de frijol en el Caribe seco colombiano*.
- Corrales Ramírez, L. C., Arévalo Gálvez, Z. Y., & Moreno Burbano, V. E. (2014). Solubilización de fosfatos: una función microbiana importante en el desarrollo vegetal. *Nova*, 12(21), 68-79.
- Costa, M. R., Chibeba, A. M., Mercante, F. M., & Hungria, M. (2018). Polyphasic characterization of rhizobia microsymbionts of common bean [*Phaseolus vulgaris* (L.)] isolated in Mato Grosso do Sul, a hotspot of Brazilian biodiversity. *Symbiosis*, 76(2), 163-176. <https://doi.org/10.1007/s13199-018-0543-6>

- Cubillos-Hinojosa, J. G., Saccol de Sã, E. L., & Araujo da Silva, F. (2021). Efficiency of rhizobia selection in Rio Grande do Sul, Brazil using biological nitrogen fixation in *Phaseolus lunatus*. *African Journal of Agricultural Research*, 17(2), 229-237. <https://doi.org/10.5897/AJAR2020.15066>
- Dangkulwanich, M., & Charaslertrangsi, T. (2020). Hydrodistillation and antimicrobial properties of lemongrass oil (*Cymbopogon citratus*, Stapf): An undergraduate laboratory exercise bridging chemistry and microbiology. *Journal of Food Science Education*, 19(2), 41-48. <https://doi.org/10.1111/1541-4329.12178>
- Dartora, J., Marini, D., Gonçalves, E., & Guimarães, V. F. (2016). Co-inoculation of *Azospirillum brasilense* and *Herbaspirillum seropedicae* in maize. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 20(6), 545-550. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n6p545-550>
- De Carvalho, L., De Oliveira, I., Almeida, N., & Andrade, K. (2011). The intercropping of fennel with beans and cowpeas in the Agreste region of Brazil. *Acta Horticulturae*, 925(31), 199-204. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.925.29>
- De Souza, F., & Roca, S. (2018). Extraction and characterization of humic acid from coal for the application as dispersant of ceramic powders. *Journal of Materials Research and Technology*, 7(3), 254-260. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2017.08.008>
- Decreto 1156 de 2018. "Por el cual se reglamenta el régimen de registro sanitario de productos fitoterapéuticos y se dictan otras disposiciones". Ministerio de Salud y Protección Social (MinSalud). <https://diario-oficial.vlex.com.co/vid/decreto-numero-1156-2018-731330373>
- 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 de la Facultad de Medicina*, 60(1):13-27.
- Delgado, J., Menjívar, J. C., & Sánchez, M. S. (2015). Influencia de la fertilización en la producción y composición del aceite esencial de *Lippia origanoides* HBK (orégano criollo). *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 20(3), 335-347. <http://scielo.sld.cu/pdf/pla/v20n3/pla08315.pdf>
- Delgado Ospina, J., Sánchez Orozco, M. S., & Bonilla Correa, C. R. (2016). Efecto del secado y la edad de las plantas en la composición de los aceites esenciales de *Lippia alba* (Mill.) N.E.Br. ex Britton & P. Wilson y *Lippia origanoides* Kunth. *Acta Agronómica*, 65(2), 170-175. <https://doi.org/10.15446/acag.v65n2.47576>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE]. (2019). *Resultados del Censo Nacional de Población y Vivienda 2018: pueblos indígenas de la Sierra Nevada de Santa Marta*. <https://www.dane.gov.co/files/censo2018/informacion-tecnica/presentaciones-territorio/191004-CNPV-presentacion-Magdalena.pdf>
- Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (2018, 15 de marzo). *Estrategia para la implementación de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) en Colombia* (Documento CONPES 3918). <https://colaboracion.dnp.gov.co/cdt/conpes/econ%20b3micos/3918.pdf>
- Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (2021). *IDIC 2021: Índice Departamental de Innovación para Colombia*. https://www.innovamos.gov.co/sites/default/content/files/000070/3451_idic-2021--final_v3_compressed.pdf

- Díaz, S. G. (2012). *Efecto de la radiación en el desarrollo fenológico, rendimiento y calidad en policultivo: chile, jitomate, maíz, frijol y amaranto en condiciones de invernadero* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Querétaro, México]. <https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/519>
- Díaz-Medina, A. R., Arboleda-Zapata, T., & Ríos Osorio, L. A. (2019). Estrategias de control biológico utilizadas para el manejo de la antracnosis causada por *Colletotrichum gloeosporioides* en frutos de mango: una revisión sistemática. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 22(29), 595-611. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/29529>
- Dick, D. P. (2011). Química da matéria orgânica do solo. In V. F. Melo & L. R. F. Alleoni (eds.), *Química e mineralogia do solo* (pp. 1-68). Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.
- Durán Barón, R., & Villa, A. (2014). Extracción asistida por microondas de aceite esencial y pectinas de cáscaras de naranja a diferentes estados de madurez. *Revista Facultad Agronomía*, 31, 145-58.
- Ebel, R., Pozas Cárdenas, J. G., Soria, F., & Cruz González, J. (2017). Manejo orgánico de la milpa: rendimiento de maíz, frijol y calabaza en monocultivo y policultivo. *Terra Latinoamericana*, 35(2), 149-160. <https://doi.org/10.28940/terra.v35i2.166>
- Eguillor, P. M. (2019). *Pérdida y desperdicio de alimentos en el sector agrícola: avances y desafíos: febrero 2019*. https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2019/02/articulo-perdida_desperdicios.pdf
- Federación Nacional de Cultivadores de Cereales, Leguminosas y Soya [Fenalce]. (2018). *Informe de gestión año 2018*.
- Federación Nacional de Cultivadores de Cereales, Leguminosas y Soya [Fenalce]. (2022). *Situación actual para maíz y frijol en Colombia*.
- Federación de Orgánicos de Colombia [Fedeorgánicos]. (2018). *En Colombia exportamos 95% de la producción orgánica*. <http://www.fedeorganicos.com/en-colombia-exportamos-95-de-la-produccion-organica/>
- Félix, F. J. D. (2018). *Caracterización molecular y funcional de biofertilizantes bacterianos, y análisis de su potencial para mejorar la producción de cultivos de maíz, guisante, lechuga, fresa y zanahoria* [Tesis doctoral]. Universidad de Salamanca.
- Ferrándiz García, M. (2015). *Encapsulación de aceites esenciales funcionales para su aplicación en agricultura* [Tesis doctoral]. Universidad Politécnica de Valencia.
- Frete, F. (2010). *Plantas medicinales y aromáticas: una alternativa de producción comercial*. Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID). <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/biblio-1006489>
- Gallego, C., Ligarreto, G. A., Garzón, L. N., Oliveros, Ó., & Rincón, L. J. (2010). Rendimiento y reacción a *Colletotrichum lindemuthianum* en cultivares de frijol voluble (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 63(2), 5477-5488.
- Galván, D., Fermán, J., & Espejel, I. (2016) ¿Sustentabilidad comunitaria indígena? Un modelo integral. *Sociedad y Ambiente*, 11, 4-22. <https://www.redalyc.org/pdf/4557/455748464002.pdf>

- Gaviria, V., Patiño, L. F., & Saldarriaga, A. (2013). Evaluación *in vitro* de fungicidas comerciales para el control de *Colletotrichum* spp., en mora de Castilla. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 14(1), 67-75. https://doi.org/10.21930/rcta.vol14_num1_art:344
- Giraldo, N., Ramos, P., Viveros, G., Estigarribia, G., Ríos, P., & Ortiz, A. (2020). Etnobotánica y uso de plantas medicinales en unidades familiares de salud de Caaguazú, Paraguay. *Caldasia*, 42(2), 1-31. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v42n2.76907>
- Godoy, L., Díaz, T. G., Vásconez, G. H., Defaz, E., & González, B. (2011). Evaluación de dos variedades de fréjol durante tres épocas de siembra bajo sistema de cultivo asociado con maíz. *Ciencia y Tecnología*, 4(1), 5-11. <http://dx.doi.org/10.18779/cyt.v4i1.50>
- Gomes, D. F., Tullio, L. D., Del Cerro, P., Nakatani, A. S., Alvez Paiva Rolla-Santos, A., Gil-Serrano, A., Megías, M., Ollero, F. J., & Hungria, M. (2019). Regulation of *hnsT*, *nodF* and *nodE* genes in *Rhizobium tropici* CIAT 899 and their roles in the synthesis of nod factors and in the symbiosis. *Microbiology*, 165(9), 990-1000. <https://doi.org/10.1099/mic.0.000824>
- González, R., García, H., Isaacs, P., Cuadros, H., López, R., Rodríguez, N., Pérez, K., Mijares, F., Castaño, A., Jurado, R., Idarraga, A., Rojas, A., Vergara, H., & Pizano, C. (2018). Disentangling the environmental heterogeneity, floristic distinctiveness and current threats of tropical dry forests in Colombia. *Environmental Research Letter*, 13, 045007. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaad74>
- Gunnabo, A. H., Geurts, R., Wolde-Meskel, E., Degefu, T., Giller, K. E., & Van Heerwaarden, J. (2019). Genetic interaction studies reveal superior performance of *Rhizobium tropici* CIAT899 on a range of diverse East African common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. *Applied and Environmental Microbiology*, 85(24), e01763-19. <https://doi.org/10.1128/AEM.01763-19>
- Hahn, L. (2013). *Promoção de crescimento de plantas gramíneas e leguminosas inoculadas com rizóbios e bactérias associativas* [Tese doutorado em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre]. <http://hdl.handle.net/10183/88278>
- Herrera, T., Ortiz, J., Delgado, A., & Acosta, J. (2014). Osmoprotectants content, ascorbic acid and ascorbate peroxidase on bean leaves under drought stress. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(5), 859-870. https://www.researchgate.net/publication/317442498_Osmoprotectants_content_ascorbic_acid_and_ascorbate_peroxidase_on_bean_leaves_under_drought_stress
- Hoyos, N., Correa-Metrio, A., Jepsen, S. M., Wemple, B., Valencia, S., Marsik, M., Doria, R., Escobar, J., Restrepo, J., & Vélez, M. (2019). Modeling streamflow response to persistent drought in a coastal tropical mountainous watershed, Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Water*, 11(94), 2-21. <https://doi.org/10.3390/w11010094>
- Huertas Díaz, O., Esmeral Ariza, J., & Sánchez Fontalvo, I. M. (2017). Realidades sociales, ambientales y culturales de las comunidades indígenas en la Sierra Nevada de Santa Marta. *Producción + Limpia*, 12(1), 10-23. <https://doi.org/10.22507/pml.v12n1a1>

- Humintech. (2018). *¿Qué son los ácidos húmicos?* <https://www.humintech.com/agriculture/information/what-are-humic-acids>
- Hungria, M., (2011). *Inoculação com Azospirillum brasilense: inovação em rendimento a baixo custo*. Embrapa Soja. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/29676/1/Inoculacao-com-azospirillum.pdf>
- Hungria, M., Nogueira, M. A., & Silva Araujo, R. (2013). Co-inoculation of soybeans and common beans with rhizobia and azospirilla: Strategies to improve sustainability. *Biology and Fertility of Soils*, 49, 791-801. <https://doi.org/10.1007/s00374-012-0771-5>
- Hurtado, E. P., & Villa, A. L. (2017). Estudio de mercado aceite esencial de naranja en Colombia en el periodo 2009-2014. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10(2), 301-310. <https://doi.org/10.17584/rcch.2016v10i2.4653>
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2012). *Manejo fitosanitario del cultivo de hortalizas: medidas para la temporada invernal*. <https://www.ica.gov.co/getattachment/bb883b42-80da-4ae5-851f-4db05edf581b/Manejo-fitosanitario-del-cultivo-de-hortalizas.aspx>
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2021). *Productos bioinsumos registrados*.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC]. (2015). *Suelos y tierras de Colombia* (Tomo 1). <https://www.igac.gov.co/es/catalogo/suelos-y-tierrasde-colombia-tomo-1-y-2>
- Jiménez-Martín, C. (2016). Justicia territorial para la construcción de la paz. *Bitácora Urbano Territorial*, 26(2), 59-66. <https://doi.org/10.15446/bitacora.v26n2.59301>
- Jovanović, G. D., Klaus, A. S., & Nikšić, M. P. (2016). Actividad antimicrobiana de recubrimientos de quitosano y películas contra *Listeria monocytogenes* en rábano negro. *Revista Argentina de Microbiología*, 48(2), 128-136. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2016.02.003>
- Kala, C. P. (2015). Medicinal and aromatic plants: Boon for enterprise development. *Journal Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 2(4), 134-139. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2015.05.002>
- Kogui-Malayo-Arhuaco, C. I. (2015). *Documento madre de la Línea Negra Jaba Séshizha de los cuatro pueblos indígenas de la Sierra Nevada de Santa Marta* [Documento sin publicar].
- Kusuma, H. S., Rohadi, T. I., Daniswara, E. F., Altway, A., & Mahfud, M. (2017). Preliminary study: Comparison of kinetic models of oil extraction from vetiver (*Vetiveria zizanioides*) by microwave hydrodistillation. *Korean Chemical Engineering Research*, 55, 574-577. <https://doi.org/10.9713/kcer.2017.55.4.574>
- Lamichhane, J. R., Dachbrodt-Saaydeh, S., Kudsk, P., & Messéan, A. (2016). Toward a reduced reliance on conventional pesticides in european agriculture. *Plant Disease*, 100(1), 10-24. <https://doi.org/10.1094/PDIS-05-15-0574-FE>
- Laranjo, M., Alexandre, A., & Oliveira, S. (2014). Legume growth-promoting rhizobia: An overview on the *Mesorhizobium* genus. *Microbiological research*, 169(1), 2-17. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2013.09.012>
- Lau, C., Jarvis, A., & Ramírez, J. (2011). Agricultura colombiana: adaptación al cambio climático. *CIAT Políticas en Síntesis*, 1, 1-4. <https://hdl.handle.net/10568/57475>

- Li, C. M., & Yu, J. P. (2015). Chemical composition, antimicrobial activity and mechanism of action of essential oil from the leaves of *Macleaya cordata* (Willd.), R. Br. *Journal of Food Safety*, 35(2), 227-236. <https://doi.org/10.1111/jfs.12175>
- Lipa Huamaní, F. G. (2014). *Estudio comparativo en el proceso de extracción de aceite esencial de eucalipto (Eucalyptus globulus Labill) mediante el método de destilación por arrastre de vapor y el método de hidrodestilación asistido por radiación microondas* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Lira-Méndez, K., Salinas-García, J. R., Díaz-Franco, A., & Mayek-Pérez, N. (2012). Efecto de labranza, humedad y fertilización en el rendimiento de frijol y la patogenicidad de *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(2), 365-371.
- Lissbrant, S. (2015). Seguridad alimentaria y nutricional en la región Caribe: consecuencias de la desnutrición y buenas prácticas como soluciones. *Investigación y Desarrollo*, 23(1), 117-138.
- Lopes Olivares, F., Galba Busato, J., De Paula, A., Da Silva-Lima, L., Oliveira Aguiar, N., & Canellas, L. P. (2017). Plant growth promoting bacteria and humic substances: Crop promotion and mechanisms of action. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 4(1), Article 30. <https://doi.org/10.1186/s40538-017-0112-x>
- López, A. J., Tofiño, A. P., Ospina, D. A., & Rozo, Y. (2022). *Lineamientos de una metodología híbrida para la vinculación científico-tecnológica de los pueblos ancestrales de Colombia*. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.analisis.7405606>
- López-Alcocer, J. J., Lépez-Ildefonso, R., González-Eguiarte, D. R., Rodríguez-Macías, R., & López-Alcocer, E. (2020). Eficiencia en fijación biológica de nitrógeno de cepas de *Rhizobium* spp. recolectadas en frijol cultivado y silvestre. *Terra Latinoamericana*, 38(4), 841-852. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.654>
- López López, A. J., Rozo Leguizamón, Y., Rochel Ortega, E., & Tofiño Rivera, A. P. (2021). Resistencia de comunidades indígenas ancestrales a la innovación agropecuaria: epistemología y fundamentos de su investigación en Colombia. *Abordajes*, 9(15), 151-182. <https://revistaelectronica.unlar.edu.ar/index.php/abordajes/article/view/787>
- Lubbe, A., & Verpoorte, R. (2011). Cultivation of medicinal and aromatic plants for specialty industrial materials. *Industrial Crops and Products*, 34(1), 785-801. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.01.019>
- Lüdtke, A. C. (2014). *Matéria orgânica do solo e produção de alface e cebolinha em Argissolo vermelho com adição de fertilizantes alternativos*. [Dissertação mestrado em Ciencia do Solo]. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Lugo Trampe, J. J., & Morales, F. (2017). Uso de los aceites esenciales en el control de plagas. *Artrópodos y Salud*, 7(1), 44-54. https://artropodosysalud.com/multimedia/7Aceites_esenciales.pdf
- Maheshwari, D. K., Agarwal, M., Dheeman, S., & Saraf, M. (2013). Potential of rhizobia in productivity enhancement of *Macrotyloma uniflorum* L. and *Phaseolus vulgaris* L. cultivated in the Western Himalaya. In *Bacteria in Agrobiolgy: Crop productivity* (pp. 127-165). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-37241-4_6

- Mango, A. (2019). Inoculación con rizobacterias en *Paspalum atratum* cv. cambá fca.: efecto sobre el crecimiento, producción de biomasa y micorrización [Tesis de Maestría, Universidad Nacional del Nordeste]. <https://repositorio.unne.edu.ar/handle/123456789/9186>
- Marini, D., Guimarães, V. F., Dartora, J., Lana, M. C., & Pinto Júnior, A. S. (2015). Growth and yield of corn hybrids in response to association with *Azospirillum brasilense* and nitrogen fertilization. *Revista Ceres*, 62(1), 117-123. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201562010015>
- Marrugo-Arnedo, C. A., Del Risco-Serje, K. P., Marrugo-Arnedo, V. C., Herrera-Llamas, J. A., & Pérez-Valbuena, G. J. (2015). Determinantes de la pobreza en la región Caribe colombiana. *Revista de Economía del Caribe*, 1(15), 47-69. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2011-21062015000100002&lng=e&nrm=iso
- Martínez, S., Terrazas, E., Álvarez, T., Mamani, Ó., Vila, J., & Mollinedo, P. (2010). Actividad antifúngica *in vitro* de extractos polares de plantas del género *Baccharis* sobre fitopatógenos. *Revista Boliviana de Química*, 27(1), 13-18. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-54602010000100003
- Mateus Arciniegas, D. (2016). *El cuerpo indígena kankuamo: proceso, flexibilidad y memoria* [Tesis de pregrado]. Pontificia Universidad Javeriana.
- Matsumura, E., Secco, V. A., Moreira, R. S., Dos Santos, O. J. A., Hungria, M., & Martinez de Oliveira, A. L. (2015). Composition and activity of endophytic bacterial communities in field-grown maize plants inoculated with *Azospirillum brasilense*. *Annals of Microbiology*, 65(4), 2187-2200. <https://doi.org/10.1007/s13213-015-1059-4>
- 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. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v33n2.49858>
- Melo-Guerrero, M. C., Ortiz-Jurado, D. E., & Hurtado-Benavides, A. M. (2020). Comparación de la composición y de la actividad antioxidante del aceite esencial de manzanilla (*Matricaria chamomilla* L.) obtenido mediante extracción con fluidos supercríticos y otras técnicas verdes. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 44(172), 845-856. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.862>
- Mena Rodríguez, E., Ortega Cuadros, M., Merini, L., Melo-Ríos, A. E., & Tofiño Rivera, A. (2018). Efecto de agroinsumos y aceites esenciales en el suelo de hortalizas en el Caribe colombiano. *Revista Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 19(1), 103-124. https://doi.org/10.21930/rcta.vol19_num1_art:535
- Merçon, J. (2022). Investigación transdisciplinaria e investigación-acción participativa en clave decolonial. *Utopía y Praxis Latinoamericana*, 27(98), e6614174. <https://www.redalyc.org/journal/279/27971621007/html/>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). (2017). Resolución 464. "Por la cual se adoptan los lineamientos estratégicos de política pública para la agricultura campesina, familiar y comunitaria y se dictan otras disposiciones". https://www.redjurista.com/Documents/resolucion_464_de_2017_ministerio_de_agricultura_y_desarrollo_rural.aspx#/

- Ministerio de Cultura [MinCultura]. (2017). Resolución 3760. “Sistema de conocimiento ancestral de los pueblos arhuaco, kankuamo, kogui y wiwa de la Sierra Nevada de Santa Marta”. https://www.redjurista.com/Documents/resolucion_3760_de_2017_ministerio_de_la_cultura.aspx#/
- Ministerio del Interior [Mininterior]. (2017). Planes de salvaguarda. <https://www.mininterior.gov.co/direccion-de-asuntos-indigenas-rom-y-minorias/planes-de-salvaguarda/>
- Ministerio de Salud y Protección Social [MinSalud]. (2008). Resolución 2834. “Por la cual se adopta el Vademecum de plantas medicinales colombiano y se establecen los lineamientos para su actualización”. https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/Resolucion_2834_de_2008.pdf
- Ministerio de Salud y Protección Social [MinSalud]. (2008). Vademécum colombiano de plantas medicinales. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SA/vademecum-colombiano-plantas-medicinales.pdf>
- Montironi, I. D., Cariddi, L. N., & Reinoso, L. B. (2016). Evaluación de la eficacia antimicrobiana del aceite esencial de *Minthostachys verticillata* y limoneno contra cepas de *Streptococcus uberis* aisladas de mastitis bovina. *Revista Argentina de Microbiología*, 48(3), 210-216. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2016.04.005>
- Mora, V., Bacaicoa, E., Zamarreno, A. M., Aguirre, E., Garnica, M., Fuentes, M., & García-Mina, J. M. (2010). Action of humic acid on promotion of cucumber shoot growth involves nitrate-related changes associated with the root-to-shoot distribution of cytokinins, polyamines and mineral nutrients. *Journal of Plant Physiology*, 167(8), 633-642.
- Moreno, A., García, V., Reyes, J. L., Vásquez, J., & Cano, P. (2018). Plant growth promoting rhizobacteria: A biofertilization alternative for sustainable agriculture. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 20(1), 68-83. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v20n1.73707>
- Moura, F. T., Ribeiro, R. A., Ferraz Helene, L. C., Nogueira, M. A., & Hungria, M. (2022). So many rhizobial partners, so little nitrogen fixed: The intriguing symbiotic promiscuity of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Symbiosis*, 86, 169-185. <https://doi.org/10.1007/s13199-022-00831-6>
- Müller, T., Sandini, I. E., Rodrigues, J. D., Novakowski, J. H., Basi, S., & Kaminski, T. H. (2016). Combination of inoculation methods of *Azospirillum brasilense* with broadcasting of nitrogen fertilizer increases corn yield. *Ciência Rural*, 46(2), 210-215. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20131283>
- Nações Unidas Brasil. (2019). *População mundial deve chegar a 9,7 bilhões de pessoas em 2050, diz relatório da onu*. <https://brasil.un.org/pt-br/62954-populacao-mundial-deve-atingir-96-bilhoes-em-2050-diz-novo-relatorio-da-onu>
- Najem, M., Bammou, M., Bachiri, L., Bouiamrine, E. H., Ibijbijen, J., & Nassiri, L. (2020). *Ruta chalepensis* L. essential oil has a biological potential for a natural fight against the pest of stored foodstuffs: *Tribolium castaneum* Herbst. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 1-11. <https://doi.org/10.1155/2020/5739786>

- Navarrete Cornejo, A. A., Morán Sánchez, N. L., Mendoza Vergara, K. Z., Suárez Muñoz, B. S., Martínez Alcivar, F. R., & Centanaro Quiroz, P. H. (2019). Diagnóstico de los conocimientos tradicionales de los campesinos en policultivos en el Recinto La Inmaculada, Yaguachi, Guayas. *Pro Sciences: Revista de Producción, Ciencias e Investigación*, 3(20), 11-21. <https://doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol3iss20.2019pp11-21>
- Nicholls, C. I., Altieri, M. A., & Vázquez, L. L. (2017). Agroecología: principios para la conversión y el rediseño de sistemas agrícolas. *Agroecología*, 10(1), 61-72. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/300741>
- Niculau, E., Alves, P. B., Nogueira, P. C., Moraes, V. R., Matos, A. P., Bernardo, A. R., Volante, A. C., Fernandes, J. B., Da Silva, M. F., Corrêa, A. G., Blank, A. F., Silva, A. C., & Ribeiro, L. P. (2013). Actividade insecticida de óleos essenciais de *Pelargonium graveolens* l'Herit e *Lippia alba* (Mill) N. E. Brown sobre *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith). *Química Nova*, 36(9), 1391-1394. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422013000900020>
- Ochoa Pumaylle, K., Paredes Quiroz, L. R., Bejarano Luján, D. L., & Silva Paz, R. J. (2012). Extracción, caracterización y evaluación de la actividad antibacteriana del aceite esencial de *Senecio graveolens* Wedd (Wiskataya). *Scientia Agropecuaria*, 3(4), 291-302. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2012.04.03>
- Olivero Verbel, J., Tirado Ballestas, I., Caballero Gallardo, K., & Stashenko E. E. (2013). Los aceites esenciales aplicados a los alimentos actúan como repelentes hacia *Tribolium castaneum*. *Journal of Stored Products Research*, 55(0), 145-147.
- Omar, M. S., & Kordali, S. (2019). Review of essential oils as antifungal agents for plant fungal diseases. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 14(2), 294-301. https://www.researchgate.net/publication/338254834_Review_of_Essential_Oils_as_Antifungal_Agents_for_Plant_Fungal_Diseases
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [Unesco]. (2022). *Sistema de conocimiento ancestral de los cuatro pueblos indígenas, arhuaco, kankuamo, kogui y wiwa de la Sierra Nevada de Santa Marta*. <https://ich.unesco.org/es/RL/sistema-de-conocimiento-ancestral-de-los-cuatro-pueblos-indigenas-arhuaco-kankuamo-kogui-y-wiwa-de-la-sierra-nevada-de-santa-marta-01886>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos [OCDE]. (2015). *Revisión de la OCDE de las políticas agrícolas: Colombia 2015*. <https://www.oecd.org/colombia/Colombia-Revision-OCDE-Politicas-Agricolas-2015.pdf>
- Organización Indígena Kankuama [OIK]. (2008). *Makú Jogúki: ordenamiento educativo del pueblo indígena kankuamo*. Resguardo Indígena Kankuamo. <https://docplayer.es/16104252-Maku-joguki-ordenamiento-educativo-del-pueblo-indigena-kankuamo-todos-los-espacios-y-tiempos-que-vivimos-se-convierten-en-proceso-pedagogico.html>
- Organización Indígena Kankuama [OIK]. (2016). *Modelo educativo kankuamo camino hacia la excelencia educativa nacional*. <https://cabildokankuamo.org/modelo-educativo-kankuamo-camino-hacia-la-excelencia-educativa-nacional/>

- Organización Indígena Kankuama [OIK]. (2021). Pueblo Kankuamo celebra resultados ICES en categoría Muy Superior de estudiantes de las instituciones educativas donde se está implementando el Modelo Educativo Kankuamo. <https://cabildokankuamo.org/pueblo-kankuamo-celebra-resultados-ices-en-categoria-muy-superior-de-estudiantes-de-las-instituciones-educativas-donde-se-esta-implementando-el-modelo-educativo-kankuamo/>
- Organización Indígena Kankuama [OIK]. (2022). *Declaración Ancestral del v Congreso Pueblo Indígena Kankuamo*. <https://cabildokankuamo.org/declaracion-ancestral-del-v-congreso-del-pueblo-indigena-kankuamo/>
- Organización Nacional Indígena [ONIC]. (2020). *Reporte especial 002 semillas, sembrando autonomía y soberanía alimentaria para la pervivencia*. <https://www.onic.org.co/boletines-osv/3847-reporte-especial-002-semillas-sembrando-autonomia-y-soberania-alimentaria-para-la-pervivencia>
- Organización Nacional Indígena [ONIC]. (2023). *Kankuamos*. <https://www.onic.org.co/pueblos/1109-kankuamo>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2012). *El pacto mundial contra las plagas de las plantas conmemora sus 60 años de actividades*. <https://www.fao.org/news/story/es/item/131978/icode/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2013). *La difícil tarea de proteger las plantas en un mundo globalizado*. <https://www.fao.org/news/story/es/item/174233/icode/>
- Ormeño-Orrillo, E., Menna, P., Almeida, L. G. P., Ollero, F. J., Nicolás, M. F., Rodrigues, E. P., Nakatani, A. S., Silva Batista, J. S., Oliveira Chueire, L.M., Souza, R. C., Ribeiro Vasconcelos, A. T., Megías, M., Hungria, M., & Martínez-Romero, E. (2012). Genomic basis of broad host range and environmental adaptability of *Rhizobium tropici* CIAT 899 and *Rhizobium* sp. PRF 81 which are used in inoculants for common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *BMC genomics*, 13(1), 1-26. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-13-735>
- Ortega Cuadros, M., Acosta de Guevara, E. E., Molina Castillo, A. D., Gutiérrez Castañeda, C., Castro Amarís, G., & Tofiño-Rivera, A. (2020b). Essential oils biological activity of the *Lippia alba* (Verbenaceae) shrub. *Revista de Biología Tropical*, 68. <https://doi.org/10.15517/rbt.v68i1.39153>
- Ortiz, C., Silva, G., Moya, E., Fischer, S., Urbina, A., & Rodríguez, J. C. (2017). Variación estacional de la repelencia de los aceites esenciales de Monimiaceae sobre *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Curculionidae). *Chilean Journal Agricultural & Animal Sciences*, 33(3), 221-230. <https://doi.org/10.4067/S0719-38902017005000604>
- Pachón, Á. (2019). *Transformación de las competencias y estrategias docentes: el gran desafío en el proceso de acreditación de alta calidad de un programa académico*. 2.º Congreso Latinoamericano de Ingeniería, 10 al 13 de septiembre, Cartagena de Indias, Colombia.
- Pantoja-Chamorro, A. L., Hurtado-Benavides, A. M., & Martínez-Correa, H. A. (2017). Evaluación del rendimiento, composición y actividad antioxidante de aceite de semillas de mora (*Rubus glaucus*) extraído con CO₂ supercrítico. *Información tecnológica*, 28(1), 35-46. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000100005>

- Parte, A. C., Sardà Carbasse, J., Meier-Kolthoff, J. P., Reimer, L. C., & Göker M. (2020). List of Prokaryotic names withstanding in nomenclature (LPSN) moves to the DSMZ. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 70, 5607-5612. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.004332>
- Pazinato, R., Volpato, A., Baldissera, M. D., Santos, R. C. V., Baretta, D., Vaucher, R. A., Giongo, J. L., Boligon, A. A., Moura Stefani, L., & Schafer da Silva, A. (2016). *In vitro* effect of seven essential oils on the reproduction of the cattle tick *Rhipicephalus microplus*. *Revista de Investigación Avanzada*, 7(6), 1029-1034. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2016.05.003>
- Pedroza, A., Trejo, R., Chávez, J., & Samaniego, J. (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. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0185-33092013000200002&script=sci_abstract
- Peixoto, M. G., Costa-Júnior, L. M., Fitzgerald Blank, A., Da Silva Lima, A., Alves Menezes, T. S., Santos, D. A., Barreto Alves, P., Cabral de Holanda Cavalcanti, S., Bacci, L., & Arrigoni Blank, M. F. (2015). Acaricidal activity of essential oils from *Lippia alba* genotypes and its major components carvone, limonene, and citral against *Rhipicephalus microplus*. *Veterinary Parasitology*, 210(1-2), 118-122. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2015.03.010>
- Pelizza, S. A., Schalamuk, S., Simón, M. R., Stenglein, S. A., Pacheco-Marino, S. G., & Scorsetti, A. C. (2017). Compatibilidad de insecticidas químicos y hongos entomopatógenos para el control de *Rachiplusia nu*, plaga defoliadora de la soja. *Revista Argentina de Microbiología*, 50(2), 189-201. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2017.06.002>
- Pérez, D., Pimentel, J., Pineda, L., & Menjivar, R. (2014). *Efecto de cuatro densidades poblacionales y tres espaciamientos entre hileras en el rendimiento del frijol Amadeus 77*. Escuela Agrícola Panamericana. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/3484>
- Pérez, E., & Rivas, A. (2021). *Determinación de la sensibilidad de los microorganismos frente a antimicrobianos de origen natural y la concentración mínima inhibitoria por métodos fenotípicos*. Universitat Politècnica de València. <http://hdl.handle.net/10251/167611>
- Pérez Cordero, A., Rojas Sierra, J., Chamorro Anaya, L., & Pérez Palencia, K. (2011). Evaluación *in vitro* de la actividad inhibitoria de extractos vegetales sobre aislados de *Colletotrichum* spp. *Acta Agronómica*, 60(2), 158-164. https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/27838
- Pérez López, G., González Rodríguez, A., Oyama, K., & Cuevas Reyes, P. (2014). Importancia de la diversidad genética sobre la defensa química de plantas y las comunidades de herbívoros. *Biológicas*, 15(2), 1-8. <https://www.biologicas.umich.mx/index.php?journal=biologicas&page=article&op=view&path%5B%5D=160>

- Pérez-Peralta, P. J., Ferrera-Cerrato, R., Alarcón, A., Trejo-Téllez, L. I., Cruz-Ortega, R., & Silva-Rojas, H. V. (2019). Responses of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and *Rhizobium tropici* CIAT899 symbiosystem to induced allelopathy by *Ipomoea purpurea* L. Roth. *Revista Argentina de Microbiología*, 51(1), 47-55. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2018.01.006>
- Piccolo, A. (2002). The supramolecular structure of humic substances: A novel understanding of humus chemistry and implications in soil science. *Advances in Agronomy*, 75, 57-154. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(02\)75003-7](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(02)75003-7)
- Polanía, J. A., Beebe, S. E., Rao, I. M., Poschenrieder, C., Cajiao, C. H., Barrera, S., Grajales, M. A., Rivera, M., Barbosa, N., Melo, E., & Chaves, N. (2017). *Adaptación del frijol común al cambio climático: avances en tolerancia a sequía y calor* [Presentación]. El cambio climático un desafío para la producción agrícola del mundo, Universidad Nacional de Colombia, International Center for Tropical Agriculture (CIAT), septiembre 29.
- Pommeresche, R., & Hansen, S. (2017). *Examen de la actividad de los nódulos en raíces de leguminosas* [Nota técnica de FertilCrop]. Research Institut of Organic Agriculture (FiBL); Centro Noruego de Agricultura Orgánica (Norsøk); Centro de Investigación y Formación Agrarias (CIFA); Frick; Tingvoll; Muriedas.
- Povineli, V. O. (2012). *Fixação biológica de nitrogênio por Azospirillum brasiliense na cultura do milho*.
- Raveau, R., Fontaine, J., & Lounès-Hadj Sahraoui, S. A. (2020). Essential oils as potential alternative biocontrol products against plant pathogens and weeds: A review. *Foods*, 9(3), 365. <https://doi.org/10.3390/foods9030365>
- Retta, D., Dellacassa, E., Villamil, J., Suárez, S. A., & Bandoni, A. L. (2012). Marcela, a promising medicinal and aromatic plant from Latin America. A review. *Industrial Crops and Products*, 38, 27-38. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.01.006>
- Reyes Chaparro, P., Gutiérrez Méndez, N., Salas Muñoz, E., Ayala Soto, J. G., Chávez Flores, D., & Hernández Ochoa, L. (2015). Effect of the addition of essential oils and functional extracts of clove on physicochemical properties of chitosan-based films. *International Journal Polymer Science*, 2015, Article 714254. <https://doi.org/10.1155/2015/714254>
- Reyes Pérez, J. J., Abasolo Pacheco, F., Yépez Rosado, Á. J., Luna Murillo, R. A., Zambrano Burgos, D., Vázquez Morán, V. F., Cabrera Bravo, D. A., Guzmán Acurio, J. A., Torres Rodríguez, J. A., & Rodríguez Mendoza, W. O. (2017). Ácidos húmicos y su efecto sobre variables morfométricas en plantas de zanahoria (*Daucus carota* L). *Biotecnia*, 19(2), 25-29. <https://biotecnia.unison.mx/index.php/biotecnia/article/view/381>
- Rocha de Moraes, C. A., Enes Rocha, A., Andrade de Oliveira, C., & Fontenelle Pacheco, F. P. (2016). Levantamento etnobotânico em comunidade tradicional do assentamento Pedra Suada, do município de Cachoeira Grande, Maranhão, Brasil. *Acta Agronómica*, 65(3), 284-291. <https://doi.org/10.15446/acag.v65n3.50240>

- Rocha Pribul, B., Lima Festivo, M., Soares de Souza, M. M., & Rodríguez, D. P. (2016). Caracterización de la resistencia a quinolonas en *Salmonella* spp. aislados de productos alimenticios y muestras humanas en Brasil. *Revista Brasileña de Microbiología*, 47(1), 196-201. <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2015.04.001>
- Rochel Ortega, E., Cruz, Z. N., Roza Leguizamón, Y., Gómez-Latorre, D. A., Tofiño Rivera, A., & López López, A. J. (2022). Vinculación tecnológica de colegios agropecuarios para la innovación local: el caso Sibundoy en Colombia. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 9(3), 85-96.
- Rodríguez Suárez, A. C. (2021). *Aceites esenciales de la flora canaria como biopesticidas en el manejo integral de plagas*. Universidad de La Laguna. <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/25197>
- Rojas Raya, M. A., Hernández Zepeda, O. F., Quintana Rodríguez, E., & Heil, M. (2018). ¿Cómo detectar a un invasor?: “El uso de los compuestos orgánicos volátiles en la detección temprana de antracnosis en frijol”. *Revista Biotecnología y Agropecuarias*, 4, 76-80. <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/2269>
- Rosales Aguilar, N. R., & Bañuelos Herrera, L. A. (2015). *Respuesta del rábano (Raphanus sativus L.), a densidades de siembra y aplicación de sustancias fúlvicas (k-tionic) y húmicas (humiplex std)* [Tesis, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. <https://1library.co/document/zlnle3gq-respuesta-raphanus-sativus-adensidades-aplicacion-sustancias-fulvicas-humiplex.html>
- Rose, M., Patti, A. F., Little, K., Brown, A., Jackson, R., & Cavagnaro, T. (2014). A meta-analysis and review of plant-growth response to humic substances: Practical implications for agriculture. *Advances in Agronomy*, 124, 37-89. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800138-7.00002-4>
- Roza, Y., Tofiño, A. P., Gómez, D. A., Gómez, L. F., & Tamayo, P. J. (2018). *Modelo productivo de frijol para el Caribe seco colombiano*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA. <https://editorial.agrosavia.co/index.php/publicaciones/catalog/book/64#>
- Roza, Y., Tofiño, A., & Martínez, A. (2018). *Informe final del proyecto de AGROSAVIA “Análisis socioeconómico, tecnológico y de mercado de las principales hortalizas cultivadas en la región Caribe de Colombia”, meta “Diagnóstico de las condiciones socioeconómicas de la producción de hortalizas para el Caribe”*.
- Roza Leguizamón, Y., Ospina Cortés, D. A., López López, A. J., & Tofiño Rivera, A. (2021). Ley de Origen integradora de prácticas productivas, premodernas-modernas, en territorio kankuamo de Colombia. *Ambiente y Sociedad*, 24(9). <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20200140r2vu202114ao>
- Roza Leguizamón, Y., Zabala Perilla, A. F., & Tofiño-Rivera, A. P. (2019). *Articulación territorial de nuevas variedades de frijol biofortificado en los sistemas de producción del Caribe seco: aproximación metodológica*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.investigation.7403114>

- Ruiz, A. C., & Pabón, J. D. (2013). Efecto de los fenómenos de El Niño y La Niña en la precipitación y su impacto en la producción agrícola del departamento del Atlántico (Colombia). *Revista Colombiana de Geografía*, 22(2), 35-54. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcdg/v22n2/v22n2a03.pdf>
- Salamanca Meneses, X., & Hernández Suárez, C. A. (2018). Enseñanza en ciencias: la investigación como estrategia pedagógica. *Trilogía Ciencia Tecnología Sociedad*, 10(19), 133-148, 2018. <https://doi.org/10.22430/21457778.1025>
- Salazar Hernández, J. C. (2018). *Evaluación de la prevalencia de enfermedades en sistemas productivos de hortalizas para una propuesta de conversión agroecológica, en el oriente antioqueño (Colombia)* [Tesis doctoral, Universidad de Antioquia]. <http://hdl.handle.net/10495/22388>
- Sanabria, S. (2017). Progreso tecnológico y divergencias regionales: evidencia para Colombia (1980-2010). *Investigaciones regionales-Journal of Regional Research*, 38, 7-25. <https://investigacionesregionales.org/wp-content/uploads/sites/3/2017/11/01-SANABRIA.pdf>
- Sánchez Castañeda, J. (2017). Mercado de productos agrícolas ecológicos en Colombia. *Suma de Negocios*, 8(18), 156-163. <https://doi.org/10.1016/j.sumneg.2017.10.001>
- Sánchez-González, L., González-Martínez, C., Chiralt, A., & Cháfer, M. (2010). Physical and antimicrobial properties of chitosan-tea tree essential oil composite films. *Journal of Food Engineering*, 98(4), 443-452. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.01.026>
- Santos, M., Zandonadi, D. B., Busato, J., Pereira Peres, L., & Rocha Façanha, A. (2013). Plant physiology as affected by humified organic matter. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 25(1), 12-25. <https://doi.org/10.1590/S2197-00252013000100003>
- Santoyo-Pizano, G., Hernández-Mendoza, J. L., Márquez-Benavides, L., De Luna-Esquivel, D., & Sánchez-Yáñez, J. M. (2021). *Rhizobium phaseoli* tolerante a un insecticida en el crecimiento de *Phaseolus vulgaris*. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 12(1), 30-37. <https://doi.org/10.36610/jjsars.2021.120100030>
- Sartori, M., Nesci, A., & Etcheverry, M. (2015). Infección de *Fusarium verticillioides* y contenido de fumonisinas en granos de maíz de plantas con inflorescencias femeninas cubiertas y no cubiertas. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 47(1), 251-261. <https://revistas.uncu.edu.ar/ojs3/index.php/RFCA/article/view/3286>
- Scalvenzi, L., Yaguache-Camacho, B., Cabrera-Martínez, P., & Guerrini, A. (2016). Actividad antifúngica *in vitro* de aceites esenciales de *Ocotea quixos* (Lam.) Kosterm y *Piper aduncum* L. *Bioagro*, 28(1), 039-046. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612016000100005&lng=es&tlng=es
- Servicio Nacional de Aprendizaje [SENA]. (2012). *Introducción a la industria de los aceites esenciales extraídos de las plantas medicinales y aromáticas*. https://repositorio.sena.edu.co/sitios/introduccion_industria_aceites_esenciales_plantas_medicinales_aromaticas/#
- Shamseldin, A., & Velázquez, E. (2020). The promiscuity of *Phaseolus vulgaris* L. (common bean) for nodulation with rhizobia: A review. *World Journal of Microbiology Biotechnology*, 36, Article 63. <https://doi.org/10.1007/s11274-020-02839-w>

- Silva, A. C., Canellas, L. P., Lopes Olivares, F., Barros Dobbs, L., Oliveira Aguilar, N., Rossinoi Frade, D. A., Rezende, C. E., & Pereira Peres, L. E. (2011). Promoção do crescimento radicular de plântulas de tomateiro por substâncias húmicas isoladas de turfeiras. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35(5), 1609-1617. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000500015>
- Soto Valenzuela, J. O., Catuto Suárez, A., & Álvarez-Vera, M. (2022). Evaluación del crecimiento y nodulación de plantas de soya *Glycine max* inoculadas con *Rhizobium* y *Bradyrhizobium japonicum* en Manglaralto, Santa Elena, Ecuador. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 8(2), 27-32.
- Sousa Câmara, G. M. (2014). *Fixação biológica de nitrogênio em soja* [Informações Agronômicas n.º 147]. International Plant Nutrition Institute (IPNI). [http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/B7FB85D4FAD745CF83257D660046A90D/\\$FILE/Page1-9-147.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/B7FB85D4FAD745CF83257D660046A90D/$FILE/Page1-9-147.pdf)
- Srivastava, P., Singh, R., Tripathi, S., & Raghubanshi, A. S. (2016). Una necesidad urgente de pensamiento sostenible en la agricultura: un escenario indio. *Indicadores ecológicos*, 67, 611-622. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.03.015>
- Stashenko, E., Martínez, J. R., & Robles, M. (2014). Extracción selectiva y detección específica de biomarcadores saturados del petróleo. *Scientia Chromatographica*, 6(4), 251-268. <http://dx.doi.org/10.4322/sc.2015.010>
- Stevanato, N., & Da Silva, C. (2019). Radish seed oil: Ultrasound-assisted extraction using ethanol as solvent and assessment of its potential for ester production. *Industrial Crops and Products*, 132(2), 283-291. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.02.032>
- Stevenson, F. J. (1994). Biochemistry of the formation of humic substances. In F. J. Stevenson, *Humus chemistry, genesis, composition, reactions* (pp. 188-211). Wiley.
- Tetaping, G., Vieira, L. A., Canafistula, F. G., Loiola Pessoa, O. D., & Ribeiro Rodrigues, A. P. (2017). Informe sobre la contribución *in vivo* e *in vitro* de plantas medicinales para mejorar la función reproductora femenina. *Reproducción y climaterio*, 32(2), 109-119. <https://doi.org/10.1016/j.recli.2016.11.002>
- Theng, B. K. G. (2012). Humic substances. *Developments in Clay Science*, 4, 391-456. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53354-8.00012-8>
- Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., & Befort, B. L. (2011). Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(50), 20260-20264. <https://doi.org/10.1073/pnas.1116437108>
- Tipos de multiplicación por acodo. (2014). *Guía de jardinería*. <https://www.guiadejardineria.com/tipos-de-multiplicacion-por-acodo/>
- Tittonell, P. (2014). Ecological intensification of agriculture - sustainable by nature. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 8, 53-61. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.08.006>
- Tofiño, A. P., Ospina, D. A., & Roza, Y. (2021). Compatibilidad de prácticas agropecuarias ancestrales e innovadoras en el pueblo Kankuamo de Colombia. *Ambiente & Sociedad*, 24. <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20200078r1vu2021l2ao>

- Tofiño-Rivera, A. P., Castro-Amaris, G., & Casierra-Posada, F. (2020). Effectiveness of *Cymbopogon citratus* oil encapsulated in chitosan on *Colletotrichum gloeosporioides* isolated from *Capsicum annuum*. *Molecules*, 25(19), 4447. <https://doi.org/10.3390/molecules25194447>
- Tofiño-Rivera, A., Cordero Cordero, C., Rozo Leguizamón, Y., & Tamayo Molano, P. (2019). *Frijol biofortificado Corpoica Rojo 39: proceso de obtención varietal y sistema productivo para el Caribe seco*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA. <https://editorial.agrosavia.co/index.php/publicaciones/catalog/book/33>
- Tofiño-Rivera, A., Ortega-Cuadros, M., Galvi-Pareja, D., Jiménez-Ríos, H., Merini, L. J., & Martínez Pabón, M. C. (2016). Effect of *Lippia alba* and *Cymbopogon citratus* essential oils on biofilms of *Streptococcus mutans* and cytotoxicity in CHO cells. *Journal of Ethnopharmacology*, 194(24), 749-754. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2016.10.044>
- Tofiño-Rivera, A. P., Ortega-Cuadros, M., Melo-Ríos, A., & Mier-Giraldo, H. J. (2017). Vigilancia tecnológica de plantas aromáticas: de la investigación a la consolidación de la agrocadena colombiana. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 18(2), 353-377. https://doi.org/10.21930/rcta.vol18_num2_art:636
- Tofiño-Rivera, A., Rozo Leguizamón, Y., Gómez Latorre, D. A., Gómez Ramírez, L. F., & Tamayo Rivera, A. P. (2018). *Modelo productivo de frijoles para el Caribe húmedo colombiano*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria -AGROSAVIA. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/34488>
- Tofiño-Rivera, A., Velásquez Agudelo, A., & Zapata Tamayo, M. (2016). Indicadores edafológicos del cultivo de frijol en el Caribe seco colombiano: una estrategia *in situ*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA. <https://doi.org/10.21930/978-958-740-221-6>
- Toledo Manzur, V. M. (2013). El paradigma biocultural: crisis ecológica, modernidad y culturas tradicionales. *Sociedad y Ambiente*, 1(1), 50-60. <https://doi.org/10.31840/sya.v0i1.2>
- Torres Meléndez, A. F., & Castillo Martínez, W. E. (2018). Extracción y caracterización de aceite a partir de semilla de granadilla (*Passiflora ligularis*) obtenido por prensado en frío y solvente orgánico. *INGnosis*, 4(1), 29-40. <https://doi.org/10.18050/ingnosis.v4i1.2059>
- Tovar-Puentes, J. E., & Alvarado-Gaona, Á. E. (2013). Modelo agroecológico en la zona de amortiguamiento del Santuario de Flora y Fauna de Iguaque. *Ciencia y Agricultura*, 10(1), 57-66. <https://doi.org/10.19053/01228420.2828>
- Trevisan, S., Francioso, O., Quaggiotti, S., & Nardi, S (2010). Humic substances biological activity at the plant-soil interface from environmental aspects to molecular factors. *Plant Signaling and Behavior*, 5(6), 635-643. <https://doi.org/10.4161/psb.5.6.11211>
- Trujillo, W., & Correa, M. (2010). Plantas usadas por una comunidad indígena coreguaje en la Amazonía colombiana. *Caldasia*, 32(1),1-20. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/cal/article/view/36189>

- Uc-Peraza, R. G., & Delgado-Blas, V. H. (2012). Determinación de la concentración letal media (CL50) de cuatro detergentes domésticos biodegradables en *Laeonereis culveri* (Webster 1879) (Polychaeta: Annelida). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 28(2), 137-144. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992012000200004&lng=es&tlng=es
- Usano-Aleman, J., Palá-Paúl, J., & Díaz, S. (2014). Aceites esenciales: conceptos básicos y actividad antibacteriana. *Reduca (Biología)*, 7(2), 60-70. <http://revistareduca.es/index.php/biologia/article/view/1553/1747>
- Vaishnav, A., Hansen, A. P., Agrawal, P. K., Varma, A., & Choudhary, D. K. (2017). Perspectivas biotecnológicas de la simbiosis entre leguminosas y rizobios. En A. Hansen, D. Choudhary, P. Agrawal & A. Varma (eds.), *Rhizobium: Biology and biotechnology* (Vol. 50, pp. 247-256). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-64982-5_12
- Valero, N. O., Gómez, L. C., & Melgarejo, L. M. (2018). Supramolecular characterization of humic acids obtained through the bacterial transformation of a low rank coal. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 29(9), 1842-1853. <https://doi.org/10.21577/0103-5053.20180060>
- Vaou, N., Stravropoulou, E., Voidarou, C., Tsigalou, C., & Bezirtzoglou, E. (2021). Towards advances in medicinal plant antimicrobial activity: A review study on challenges and future perspectives. *Microorganisms*, 9(10), 1-28. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9102041>
- Vargas, B. (2013). *Manual del cultivo de frejol en Bolivia*. <http://jubovar.blogspot.com/2013/01/manual-de-manejo-del-cultivo-del-frejol.html>
- Vásquez Osorio, M., Colpas Castillo, F., & Tarón Dunoyer, A. (2019). Influencia del tamaño de partícula en la extracción de ácidos húmicos de carbón bituminoso. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 22(1), e1209. <https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n1.2019.1209>
- Velázquez-Agudelo, A., Tofiño Rivera, A., Zapata Tamayo, M., & Ríos Osorio, L. (2020). Pedologic indicators of *Phaseolus vulgaris* crops in the Colombian dry Caribbean, *in situ* strategy. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 23(2). <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/2797>
- Velásquez, M. A., Álvarez, R., Tamayo, P., & Carvalho, C. (2014). Evaluación *in vitro* de la actividad fungistática del aceite esencial de mandarina sobre el crecimiento de *Penicillium* sp. *Revista Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 15(1), 7-14. https://doi.org/10.21930/rcta.vol15_num1_art:392
- Velázquez, E., García-Fraile, P., Ramírez-Bahena, M. H., Rivas, R., & Martínez-Molina, E. (2017). Current status of the taxonomy of bacteria able to establish nitrogen-fixing legume symbiosis. In A. Zaidi, M. S. Khan & J. Musarrat (eds.), *Microbes for legume improvement* (2nd ed., pp. 1-43). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-59174-2_1
- Vélez Vargas, L. D., Moya Muñoz, A. M., & Clavijo Porras, L. J. (2011). Relaciones de competencia entre el frijol trepador (*Phaseolus vulgaris* L.) y el maíz (*Zea mays* L.) sembrados en asocio. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 64(2). <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/29366>

- Veobides Amador, H., Guridi Izquierdo, F., & Vázquez Padrón, V. (2018). Las sustancias húmicas como bioestimulantes de plantas bajo condiciones de estrés ambiental. *Cultivos Tropicales*, 39(4), 102-109.
- Vera Marín, B., & Sánchez Sáenz, M. (2015). Registro de algunas plantas medicinales cultivadas en San Cristóbal, municipio de Medellín (Antioquia - Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 68(2), 7647-7658. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v68n2.50979>
- Vergara Sotamayor, A., Páucar Cuba, K., Morales Comettant, C., Castro Mandujano, O., Pizarro Solís, P., & Díaz Rosado, J. (2018). Obtaining and phytochemical study of extracts of *Annona muricata* (Guanábana) induced by its corrosion inhibiting effect. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 84(1), 119-132. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v84i1.173>
- Vianney, S., & Tovar, P. (2015). Estudio exploratorio de mercado para *Lippia alba* como alternativa de producción sostenible en la cuenca media y baja del río Las Ceibas, Neiva, Colombia. *Revista Ingeniería y Región*, 13(1), 125-137. <https://doi.org/10.25054/22161325.714>
- Vignola, M. B., Serra, M. A., & Andreatta, A. E. (2020). Actividad antimicrobiana de diversos aceites esenciales en bacterias benéficas, patógenas y alterantes de alimentos. *Revista Tecnología y Ciencia*, 18(37), 92-100. <https://doi.org/10.33414/rtyc.3792-100.2020>
- Villamizar-Véliz, M., & Aular, Y. (2022). Métodos de extracción del aceite esencial de *Lippia alba*. *Revista Ingeniería uc*, 29(1), 3-14.
- Vorraber, L. B., Sebastián, M., Fernández, E., & Scófano, M. (2014). Ecología urbana: diseño de espacios productivos comunitarios y evaluación de condiciones del medio de crecimiento y asociación de especies. *Multequina*, 23, 65-74. <https://www.redalyc.org/pdf/428/42835597006.pdf>
- Wang, L., Cao, Y., Wang, E. T., Qiao, Y. J., Jiao, S., Liu, Z. S., Zhao, L., & Wei, G. H. (2016). Biodiversity and biogeography of rhizobia associated with common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Shaanxi Province. *Systematic and Applied Microbiology*, 39(3), 211-219. <https://doi.org/10.1016/j.syapm.2016.02.001>
- Westerdahl, B., Girauld, D., Riddle, L. J., & Anderson, C. A. (2020). Essential oils for managing *Pratylenchus penetrans* on easter lilies. *Journal of Nematology*, 52, 1-7. <https://doi.org/10.21307/jofnem-2020-010>
- Wong Paz, J. E., Rubio Contreras, C., Reyes Munguía, A., Aguilar, C. N., & Carrillo Inungaray, M. L. (2018). Contenido fenólico y actividad antibacteriana de extractos de *Hamelia patens* obtenidos por diferentes métodos de extracción. *Brazilian Journal Microbiology*, 49(3), 656-661. <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2017.03.018>
- Yucra Rojas, M., & Tórrez, E. (2020). Ventajas y limitaciones de los métodos de extracción del aceite esencial de anís estrellado. *Revista Instituto de Investigaciones Industriales de Bolivia*, 1(13). <https://www.studocu.com/bo/document/universidad-cristiana-de-bolivia/quimica-general/articulo-tecnico-metodos-de-extraccion/18121893>
- Zakhia, F., & De Lajudie, P. (2001). Taxonomy of rhizobia. *Agronomie*, 21(6), 569-576. <https://hal.science/hal-00886134/document>

- Zandonadi, D. B., Canellas, L. P., & Façanha A. R. (2007). Indolacetic and humic acids induce lateral root development through a concerted plasmalemma and tonoplast H⁺ pumps activation. *Planta*, 225(6), 1583-1595. <https://doi.org/10.1007/s00425-006-0454-2>
- Zandonadi, D. B., Santos, M. P., Medici, L. O., & Silva, J. (2014). Ação da matéria orgânica e suas frações sobre a fisiologia de hortaliças. *Horticultura Brasileira*, 32(1), 14-20. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362014000100003>
- Zheng, W. T., Li Jr, Y., Wang, R., Sui, X. H., Zhang, X. X., Zhang, J. J., & Chen, W. X. (2013). *Mesorhizobium qingshengii* sp. nov., isolated from effective nodules of *Astragalus sinicus*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 63(Pt_6), 2002-2007. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.044362-0>

Impresión y encuadernación DGP Editores S.A.S
Terminó de imprimirse en julio de 2023,
Bogotá, D. C., Colombia

AGROSAVIA

Corporación colombiana de investigación agropecuaria

Colombia un país megadiverso, refiere de igual manera una ingente heterogeneidad y complejidad en las comunidades que en ella habitan; especialmente en los territorios de la periferia confluyen la biodiversidad y la riqueza etnocultural de los pueblos ancestrales. El alcance de la paz total como compromiso del país requiere la integración de estos saberes ancestrales a los procesos de generación de nuevo conocimiento a partir de un acercamiento divergente respecto a los procesos tradicionales de extensión agropecuaria. Al respecto, AGROSAVIA contribuye a las iniciativas del gobierno nacional para la transformación social y productiva del país a través de los lineamientos de una metodología híbrida para la vinculación científico-tecnológica de los pueblos ancestrales de Colombia como planteamiento para el alcance de procesos de gestión del conocimiento interculturales. El presente documento constituye la materialización de los mencionados lineamientos donde se propone una salida frente la tensión entre la conservación biocultural y la producción de alimentos, donde la innovación tecnológica se direcciona al cumplimiento de los objetivos autónomos del pueblo Kankuamo y, el fortalecimiento de sus procesos etnoeducativos en concordancia con su visión de desarrollo comunitario indígena.



BIBLIOTECA AGROPECUARIA DE COLOMBIA

CORREO: bac@agrosavia.co

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

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

www.agrosavia.co

Distribución gratuita
Prohibida su venta

