

Gestión sostenible del agua y del suelo

en la producción agropecuaria
del departamento del Cesar



Gestión sostenible del agua y del suelo

en la producción agropecuaria
del departamento del Cesar

AUTORES

Claudia Maricel Ipaz Cuastumal
José Luis Tauta Muñoz
Ana María Calvo Salamanca
Sofiane Ouazaa
César Augusto Terán-Chaves
Guillermo Alberto Brochero Aldana
José Edwin Mojica Rodríguez
Luis Fernando Gómez Ramírez
Esteban Burbano Erazo

Simón Andrés del Cristo Albonis Gómez
Milton Rivera Rojas
Guillermo Antonio Garay Oyola
Carina Cecilia Cordero Cordero
Paola Vanessa Sierra-Baquero
Deimer Alberto Fuentes Cassiani
Tatiana Sánchez Doria
José Antonio Rubiano Rodríguez
Antonio María Martínez Reina

Gestión sostenible del agua y del suelo en la producción agropecuaria del departamento del Cesar. / Claudia Maricel Ipaz Cuastumal [y otros dieciocho] – Mosquera, (Colombia): AGROSAVIA, 2023.

248 páginas (Colección Alianzas AGROSAVIA)

Incluye referencias bibliográficas, ilustraciones y gráficos.

ISBN e-Book: 978-958-740-687-0

1. Utilización de la tierra 2. Sistemas de riego 3. Frutales 4. Plantas forrajeras 5. Sistemas silvopascícolas 6. Ordenación de aguas 7. Manejo del cultivo 8. Análisis económico 9. Cesar (Colombia).

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.

Centro de Investigación Tibaitatá. Kilómetro 14 vía Mosquera-Bogotá, Mosquera. Código postal 250047, Colombia.

Centro de Investigación Nataima. Kilómetro 9, vía Espinal-Chicorá, Tolima. Código postal 733520, Colombia.

Centro de Investigación Turipaná. Kilómetro 13, Vía Montería-Cereté, Córdoba. Código postal: 230550, Colombia.

Esta publicación es el resultado del proyecto "Optimización del agua y uso eficiente del suelo para mejorar la producción agropecuaria en escenarios de vulnerabilidad agroclimática del departamento del Cesar", financiado por el Fondo de Ciencia, Tecnología e innovación del Sistema General de Regalías (código bpin 2017000100050). Convenio: 1925

Colección Alianzas AGROSAVIA

Tipología: Manual

Fecha de recepción: 1 de junio 2023

Fecha de evaluación: 28 de julio de 2023

Fecha de aceptación: 27 de septiembre de 2023

Publicado: diciembre de 2023

Preparación editorial

Editorial Agrosavia

editorial@agrosavia.co

Dirección editorial: Astrid Verónica Bermúdez Díaz

Edición: Liliana Gaona García

Corrección de estilo: Alejandro Merlano Aramburo

Diseño y diagramación: Mónica Cabiati Daza

Línea de atención al cliente: 018000121515

atencionalcliente@agrosavia.co

www.agrosavia.co



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

Citación sugerida: Ipaz Cuastumal, C. M., Tauta, J. L., Calvo Salamanca, A. M., Ouazaa, S., Terán-Chaves, C. A., Brochero Aldana, G. A., Mojica Rodríguez, J. E., Gómez Ramírez, L. F., Burbano Erazo, E., Albonis Gómez, S. A. C., Rivera Rojas, M., Garay Oyola, G. A., Cordero Cordero, C. C., Sierra-Baquero, P. V., Fuentes Cassiani, D. A., Sánchez Doria, T., Rubiano Rodríguez, J. A., & Martínez Reina, A. M. (2023). *Gestión sostenible del agua y del suelo en la producción agropecuaria del departamento del Cesar*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7406870>

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



Contenido

Los autores.....	7
Agradecimientos.....	14
Presentación	15

Capítulo

I.

Uso eficiente del suelo en sistemas de producción de forrajes y frutales en el Caribe seco..... 17

Introducción.....	18
El suelo: un recurso no renovable y su importancia en la producción agropecuaria en el Cesar	19
Caracterización fisicoquímica de los suelos en los sistemas de producción de maíz, pastos, sorgo, mango, cítricos y silvopastoriles en el C. I. Motilonia	21
Resultados y recomendaciones de uso y manejo de suelo en los lotes de los cultivos priorizados.....	24
Análisis general	38
Conclusiones	42
Referencias.....	43

Capítulo

II.

Sistemas de riego por pivote central para la producción de biomasa a gran escala en el Caribe seco 46

Introducción.....	47
Generalidades de los sistemas de riego por pivote central.....	48



Diseño, construcción, implementación y evaluación de un sistema de riego por pivote central para la producción de biomasa a gran escala (pastos y forrajes)	53
Evaluación de la producción y las láminas de riego aplicadas.....	70
Conclusiones	74
Referencias.....	75

Capítulo

III.

Producción, cosecha y poscosecha de cultivos forrajeros. 79

Introducción.....	80
Adecuación del lote para la producción de cultivos forrajeros con pivote central	81
Producción de cultivos forrajeros	82
Conservación de forrajes.....	100
Conclusiones	108
Referencias.....	109

Capítulo

IV.

Eficiencia hídrica y productividad en dos sistemas silvopastoriles del Caribe seco colombiano. 111

Introducción.....	112
Caracterización climática del área de estudio	113
Caracterización de los sistemas silvopastoriles	114
Efectos de los sistemas silvopastoriles sobre la producción y calidad del forraje, el comportamiento ingestivo y la producción de leche en vacas lactantes.....	125
Efectos del riego complementario en la producción primaria neta de pasto Guinea establecido en sistemas silvopastoriles.....	134
Conclusiones	144
Referencias.....	144



Capítulo V.

Manejo del agua y suelo, y control de plagas y enfermedades en el cultivo de mango Keitt en las condiciones del Caribe seco colombiano. 146

Introducción.....	147
Requerimientos edafoclimáticos y preparación de suelos en el cultivo de mango.....	148
Siembra.....	150
Sistema de riego y uso eficiente del agua.....	156
Manejo de las principales plagas y enfermedades	156
Cosecha	165
Experiencia AGROSAVIA: establecimiento y manejo de parcelas experimentales de mango Keitt en el Caribe seco colombiano, haciendo uso efectivo del agua.....	167
Conclusiones	180
Referencias.....	180

Capítulo VI.

Manejo integrado del cultivo de cítricos en el Caribe seco: un enfoque en el uso eficiente del agua y el suelo, y el control efectivo de plagas y enfermedades 185

Introducción.....	186
Establecimiento del cultivo de cítricos	188
Manejo integrado del cultivo.....	190
Experiencia AGROSAVIA: establecimiento y manejo de un cultivo de naranja Valencia (<i>Citrus sinensis</i> [L.] Osbeck) y lima ácida (limón pajarito) (<i>Citrus aurantifolia</i> [Christm.] Swingle) en el Caribe seco colombiano.....	205
Conclusiones	228
Referencias.....	228



Capítulo **VII.**

Análisis comparativo de los retornos económicos en los sistemas de producción priorizados entre la tecnología local y el uso del riego en el Centro de Investigación Motilonia de AGROSAVIA	233
Introducción.....	234
Materiales y métodos	235
Resultados	238
Conclusiones	245
Referencias.....	246

Los autores



Claudia Maricel Ipaz Cuastumal

Correo electrónico: cipaz@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1292-0034>

Investigadora máster del Centro de Investigación Motilonia de AGROSAVIA. Investigadora con formación en mecanización agrícola, manejo del recurso hídrico, fertilización de cultivos, diagnóstico físicoquímico de suelos y agricultura específica por sitio con técnicas de la geomática, bajo un enfoque de manejo integral de los recursos suelo, agua y planta.

José Luis Tauta Muñoz

Correo electrónico: jtauta@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2837-4931>

Ingeniero agrícola y magíster en Ciencias Agrarias, con énfasis en suelos y aguas, de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Trabajó en proyectos de investigación en temas asociados con cambio climático e investigación participativa con la Universidad Nacional de Colombia y la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales. Está vinculado a AGROSAVIA desde 2015 como profesional de apoyo a la investigación, adscrito a la Red de Innovación de Cultivos Transitorios y Agroindustriales, donde ha trabajado en proyectos de investigación asociados con indicadores ambientales y de sostenibilidad, servicios ecosistémicos, análisis de cadena de valor y análisis espacial de indicadores de calidad física y química de suelos.



Ana María Calvo Salamanca

Correo electrónico: acalvo@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1345-5891>

Ingeniera química y magíster en Ingeniería Química. Actualmente se desempeña como investigadora máster en el Centro de Investigación Tibaitatá de AGROSAVIA. Cuenta con experiencia en análisis y modelamiento de calidad de agua, diseño de experimentos y manejo de técnicas de laboratorio para análisis bioquímicos y físico-químicos en agua, suelo, tejido vegetal y alimentos, como GC-MS, HPLC, UPLC, ICP-MS y UV-VIS.

Sofiane Ouazaa

Correo electrónico: souazaa@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5301-4639>

Investigador Ph.D. del Centro de Investigación Nataima de AGROSAVIA. Investigador en el área de manejo integrado del recurso hídrico, con maestrías en Gestión de Agua y Suelos (Agricultura de Riego) en el Instituto Agronómico Mediterráneo de Bari (Italia) y en Ciencia e Ingeniería Agrarias en la Universidad de Castilla-La Mancha (España). Doctor en Ciencias Agrarias (Riego) de la Universidad de Zaragoza, con formación en el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC, España) y el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). Tiene experiencia en diseño, optimización y modelamiento del agua de riego con los sistemas de riego por aspersión, pivotes centrales y goteo, así como en la aplicación de estrategias de agricultura de precisión y de manejo por sitio específico.

César Augusto Terán-Chaves

Correo electrónico: cteran@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6150-2299>

Investigador Ph.D. sénior (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación), líder del grupo de investigación “Ecología y agricultura inteligente para la sostenibilidad y competitividad de los sistemas de producción en el trópico” (A1). Ingeniero agrícola de la Universidad Nacional de Colombia, *Microsoft certified solutions developer*, máster en Ciencias Financieras y Sistemas y Ph.D. en Ingeniería del Agua y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia (España). Investigador en las áreas de agroclimatología y



manejo de aguas del Centro de Investigación Tibaitatá de AGROSAVIA. Tiene treinta años de experiencia en investigación en huella hídrica, requerimientos y estrés hídricos de cultivos, modelación y simulación de biomasa y rendimiento agrícola, optimización del agua para la producción agrícola, zonificación agroclimática de cultivos con análisis de variabilidad y cambio climático en el trópico. Ha sido galardonado con nueve distinciones, entre las que sobresalen el Premio Mariano Ospina Pérez (1990), el Premio Anual Luis Carlos Galán (1991), el Premio Corpoica al mejor proyecto de investigación (1999), tesis de doctorado *cum laude* (2015) y la nominación a Mejores Líderes de Colombia, de la revista *Semana* (2018).

Guillermo Alberto Brochero Aldana

Correo electrónico: gbrocheroa@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6713-4180>

Ingeniero agrónomo de la Universidad de Cundinamarca, con experiencia en investigación agropecuaria, con énfasis en las áreas de suelos, manejo agronómico de pastos y forrajes, establecimiento y manejo de sistemas silvopastoriles y procesos de producción de semillas en forrajeras. Desde 2012 participa en procesos de investigación de la agenda corporativa de AGROSAVIA, en el Centro de Investigación Motilonia.

José Edwin Mojica Rodríguez

Correo electrónico: jmojica@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7751-8631>

Investigador Ph.D. del Centro de Investigación Motilonia de AGROSAVIA, adscrito a la Red de Innovación de Ganadería y Especies Menores. Médico veterinario zootecnista de la Universidad de Los Llanos, máster y doctor en Producción Animal, con énfasis en nutrición de rumiantes, de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Investigador en el área de nutrición, alimentación y rumiantes en las siguientes líneas de investigación: efecto de la alimentación con gramíneas tropicales sobre la producción, la calidad composicional y los ácidos grasos funcionales en la leche bovina; análisis de sistemas de alimentación en ganaderías doble propósito, y selección y conservación de forrajes y su uso en la alimentación de bovinos.



Luis Fernando Gómez Ramírez

Correo electrónico: lfgomez@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9847-0606>

Investigador máster de AGROSAVIA, adscrito a la Red de Innovación de Cultivos Transitorios y Agroindustriales. Biólogo de la Universidad de Córdoba (2013) y máster en Microbiología de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá (2016), con experiencia en microbiología agrícola, microbiología de suelos y biotecnología agropecuaria. Línea de trabajo enfocada en la evaluación e implementación de microorganismos con potencial biofertilizante y biocontrolador, bioinsumos y otras estrategias de manejo orgánico en sistemas agropecuarios, principalmente en condiciones de vulnerabilidad agroclimática, como el Caribe seco colombiano.

Esteban Burbano Erazo

Correo electrónico: eburbano@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5056-9893>

Investigador máster del Centro de Investigación Motilonia de AGROSAVIA. Ingeniero agrónomo y magíster en Ciencias Agrarias, con énfasis en fitomejoramiento. Tiene experiencia en mejoramiento genético vegetal con especies forrajeras del trópico bajo, leguminosas y hortalizas de clima cálido.

Simón Andrés del Cristo Albonis Gómez

Correo electrónico: salbonisgomez14@gmail.com

Ingeniero agrónomo de la Universidad de Córdoba (Montería) y máster en Tecnología Agroambiental para una Agricultura Sostenible de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas (ETSI AAB), de la Universidad Politécnica de Madrid (España). Su itinerario de formación corresponde a la gestión integrada en sanidad vegetal, desde un enfoque de protección vegetal, en conjunto con los distintos medios de defensa fitosanitaria y las bases para la gestión integrada de plagas en cultivos agrícolas. Tiene experiencia en el estudio etiológico de enfermedades en poscosecha del cultivo de cebolla, en la comunidad autónoma de Castilla-La Mancha (España).



Milton Rivera Rojas

Correo electrónico: mrivera@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4547-2100>

Investigador máster del Centro de Investigación Motilonia de AGROSAVIA. Ingeniero forestal con maestría en Manejo y Conservación de Bosques Tropicales. Tiene experiencia en investigación en silvicultura de plantaciones forestales, propagación y desarrollo de especies arbóreas nativas y valoración de servicios ambientales de las especies arbóreas nativas en los paisajes agrícolas y ganaderos de la región Caribe colombiana. Tiene especial interés en el área de la hidrología forestal y la adaptación de los sistemas productivos a la variabilidad y el cambio climáticos.

Guillermo Antonio Garay Oyola

Correo electrónico: ggaray@agrosavia.co

Zootecnista de la Universidad de Sucre. Ha trabajado en el campo de la investigación en AGROSAVIA, en las áreas de sistemas silvo-pastoriles, forrajes, ganadería bovina de doble propósito, ganadería ovino-caprina, alimentación y nutrición animal. Asimismo, se ha desempeñado en las áreas de transferencia de tecnología y extensión rural agropecuaria.

Carina Cecilia Cordero Cordero

Correo electrónico: ccordero@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3688-5835>

Ingeniera agrónoma y magíster en Ciencias Agronómicas, con énfasis en fisiología vegetal, de la Universidad de Córdoba (Montería). Está vinculada a AGROSAVIA desde 2016, en el Centro de Investigación Motilonia, como investigadora máster. Ha trabajado en proyectos de investigación en las áreas de ecofisiología vegetal en raíces y tubérculos, mejoramiento genético en yuca, frijol y maíz, producción de semilla de genotipos biofortificados de frijol, análisis socioeconómico de las principales hortalizas de la región Caribe y en planes de vinculación de ofertas tecnológicas de la Corporación. Actualmente lidera trabajos de investigación en ecofisiología vegetal y participa en el mejoramiento genético y la producción de semilla de especies para el Caribe seco colombiano.



Paola Vanessa Sierra-Baquero

Correo electrónico: psierra@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9016-9982>

Investigadora máster del Centro de Investigación Motilonia de AGROSAVIA. Ingeniera agrónoma con maestría en Ciencias Biológicas y énfasis en entomología, con experiencia en frutales como aguacate, mango, cítricos y maracuyá, en temas de fluctuación poblacional, preferencia varietal, metabólicos secundarios, nivel de daño económico, umbrales de acción, manejo integrado de plagas y conservación de parasitoides, entre otros. También se desempeña en el área de entomología de cultivos transitorios y hortalizas de clima cálido.

Deimer Alberto Fuentes Cassiani

Correo electrónico: deimerfuentes10@hotmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0850-8074>

Ingeniero agrónomo de la Universidad de Córdoba (Montería). Su experiencia se enfoca en la investigación y extensión agrícola, en capacitación de agricultores en producción y rentabilidad de cultivos de frutales y cereales. En el Centro de Investigación Motilonia de AGROSAVIA, realizó investigación en cultivos de frutales sobre la optimización de recursos hídricos, implementando sistemas de riego por goteo y efectuando labores de uso eficiente del manejo del suelo; asimismo, participó en investigaciones sobre el manejo integrado de plagas y enfermedades.

Tatiana Sánchez Doria

Correo electrónico: tsanchezd@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5797-770X>

Ingeniera agrónoma de la Universidad de Córdoba (Montería), con diplomado en Ecología de Insectos Terrestres de la misma institución. Tiene experiencia en la línea de investigación de entomología, en temas como manejo integrado de plagas, monitoreo, colecta y montaje de insectos, cría de lepidópteros y conteo poblacional de ácaros, en relación con cultivos transitorios (algodón, maíz, sorgo y arroz), permanentes (caña de azúcar y pastos), frutales (mango y cítricos), de hortalizas de clima cálido y cultivos de batata y yuca, pertenecientes a la Red de Innovación de Raíces y Tubérculos. Actualmente se desempeña como profesional de apoyo a la investigación en el Centro de Investigación Motilonia de AGROSAVIA.



José Antonio Rubiano Rodríguez

Correo electrónico: jrubiano@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2145-4162>

Ingeniero agrónomo de la Universidad Nacional de Colombia (sede Palmira), maestro en Ciencias en Protección de Cultivos de la Universidad de Puerto Rico (Recinto de Mayagüez), y doctor en Ciencias Agrarias de la Universidad de Talca (Chile). Ha sido docente en la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Utuado, y en la Universidad del Pacífico, en Buenaventura. Es investigador de AGROSAVIA desde noviembre de 2013, en los centros de investigación Motilonia y La Selva, donde ha sido coinvestigador en más de diez proyectos. Tiene experiencia de más de veinte años en manejo integrado de plagas agrícolas.

Antonio María Martínez Reina

Correo electrónico: amartinezr@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9312-842X>

Economista de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), máster en Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia y doctor en Ciencias Económicas de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC). Fue investigador de sistemas de producción en el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) desde 1988 hasta 1992 y docente de tiempo completo de la UPTC durante dos años. Desde 1994 está vinculado a AGROSAVIA en el área de investigación, como investigador Ph.D. asociado, en el Centro de Investigación Turipaná, donde está adscrito a la Red de Innovación de Ganadería y Especies Menores. Ha desarrollado proyectos de investigación en las áreas de evaluación de resultados de investigación e impacto institucional, regional y nacional de las tecnologías de producción agropecuarias, encadenamientos productivos y análisis de política sectorial. Ha dictado la cátedra universitaria de Microeconomía por más de veinte años, en instituciones como la Universidad Pontificia Bolivariana, la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC) y la Universidad del Sinú. Además, es profesor invitado del Doctorado en Ingeniería de Alimentos de la Universidad de Córdoba (Colombia), en la asignatura Análisis Agroeconómico y Agroalimentario. Tiene trabajos de investigación económica en hortalizas y plantas aromáticas, y en el sistema de producción de búfalos. Es líder del grupo Estudios Socioeconómicos de AGROSAVIA, adscrito al Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, y par evaluador de la misma institución.



Agradecimientos

Los autores agradecemos a la Gobernación del Departamento del Cesar, en calidad de financiadora, y a AGROSAVIA, como financiadora y ejecutora, con la participación de los centros de investigación Motilonia, Tibaitatá, Turipaná, La Selva, Nataima y Caribia, quienes unieron esfuerzos técnicos, económicos y logísticos para el desarrollo del macroproyecto de ciencia, tecnología e innovación “Optimización del agua y uso eficiente del suelo para mejorar la producción agropecuaria en escenarios de vulnerabilidad agroclimática del departamento del Cesar”, financiado por el Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sistema General de Regalías (código BPIN: 2017000100050). De la misma manera, agradecemos a las entidades Corpocesar y Prodesarrollo, en calidad de interventores; a Asohofrucol, y a las asociaciones de productores del departamento del Cesar. Además, agradecemos a los profesionales, técnicos y expertos regionales que participaron en el proyecto.



Presentación

Teniendo en cuenta los efectos de la variabilidad climática, los efectos del exceso, la escasez y el estrés hídricos de los cultivos y la estacionalidad de las cosechas, que limitan la producción agropecuaria en el departamento del Cesar, en 2016 la Gobernación del Cesar y AGROSAVIA presentaron el macroproyecto de ciencia, tecnología e innovación “Optimización del agua y uso eficiente del suelo para mejorar la producción agropecuaria en escenarios de vulnerabilidad agroclimática del departamento del Cesar”, que priorizó los sistemas productivos de maíz, sorgo, silvopastoriles, cítricos, mango y pastos (para ganadería de doble propósito). Este proyecto fue aprobado por el Sistema General de Regalías en 2018 e inició su ejecución a finales del mismo año.

Como parte del macroproyecto, se desarrolló el proyecto “Modelos demostrativos de irrigación orientados al manejo del agua en forma adecuada y eficiente adaptados a los cultivos priorizados en el departamento del Cesar”. Así pues, en este documento se presentan los resultados del proyecto, obtenidos en el Centro de Investigación Motilonia. Ya que esta es una región representativa de condiciones secas y suelos degradados, está llamada a ser un polo de desarrollo alrededor no solo del manejo del riego y del agua para usos agropecuarios, sino también de la valoración y optimización de la deficitaria agua de precipitación y los desarrollos que se pueden establecer en climas áridos para los sistemas productivos agropecuarios.

Los resultados de investigación aquí consignados están dirigidos a productores, técnicos e interesados en los cultivos priorizados por el departamento del Cesar, y se presentan en siete capítulos: I) “Uso eficiente del suelo en sistemas de producción de forrajes y frutales en el Caribe seco”; II) “Sistemas de riego por pivote central para la producción de biomasa a gran escala en el Caribe seco”; III) “Producción, cosecha



y poscosecha de cultivos forrajeros”; IV) “Eficiencia hídrica y productividad en dos sistemas silvopastoriles del Caribe seco colombiano”; V) “Manejo del agua y suelo, y control de plagas y enfermedades en el cultivo de mango Keitt en las condiciones del Caribe seco colombiano”; VI) “Manejo integrado del cultivo de cítricos en el Caribe seco: un enfoque en el uso eficiente del agua y el suelo, y el control efectivo de plagas y enfermedades”, y VII) “Análisis comparativo de los retornos económicos en los sistemas de producción priorizados entre la tecnología local y el uso del riego en el Centro de Investigación Motilonia de AGROSAVIA”.

El Centro de Investigación Motilonia cuenta con infraestructura de sistemas de riego, invernadero semiautomatizado, maquinaria agrícola y equipos de tecnología de punta para realizar investigación y transferencia de tecnología en riego adaptable para el productor, con el fin de disminuir los altos niveles de evapotranspiración que se presentan en el área del dominio de recomendación del Centro. Las tecnologías, técnicas y metodologías implementadas están orientadas a optimizar el escaso recurso hídrico y a potencializar la producción de biomasa por medio del uso eficiente del agua y el manejo adecuado del suelo en la producción de las especies priorizadas en el departamento del Cesar.



Capítulo I.

Uso eficiente del suelo en sistemas de producción de forrajes y frutales en el Caribe seco

Claudia Maricel Ipaz Cuastumal, José Luis Tauta Muñoz
y Ana María Calvo Salamanca



Introducción

En el presente capítulo se reportan los resultados de la caracterización de propiedades físicas y químicas del suelo, como insumo principal para el manejo y uso adecuado del suelo en los sistemas de producción agropecuaria en el dominio de recomendación del Centro de Investigación Motilonia de AGROSAVIA, ubicado en el municipio de Agustín Codazzi, en el departamento del Cesar, en el marco del proyecto “Optimización del agua y uso eficiente del suelo para mejorar la producción agropecuaria en escenarios de vulnerabilidad agroclimática del departamento del Cesar”.

La caracterización completa del suelo, como herramienta fundamental, permite la selección del sistema de riego adecuado y su diseño, proceso en el que cobran importancia las propiedades hidrofísicas del suelo; en relación con la propiedades químicas, estas definen los planes de nutrición de los cultivos y las formas de aplicación de los fertilizantes, así como la selección de las fuentes adecuadas en las cantidades justas. El conocimiento integral de las propiedades del suelo hace posible determinar las necesidades de labranza y drenaje del terreno para propiciar un mejor desarrollo de los cultivos.

Para el establecimiento de los cultivos priorizados, a saber, mango, cítricos, pastos, maíz, sorgo y pasto en un arreglo silvopastoril, se realizó una caracterización completa del suelo y se generaron las recomendaciones de manejo de este; cabe anotar que la variabilidad de suelos que hay en el Centro de Investigación es representativa del valle geográfico del río Cesar.



El suelo: un recurso no renovable y su importancia en la producción agropecuaria en el Cesar

El manejo del suelo requiere de un conocimiento integral de su génesis, sus propiedades actuales, su interacción con el continuo suelo-agua-planta, la variabilidad espacial y su interacción con el clima.

¿Qué es el suelo?

El suelo es un cuerpo natural en el que ocurren interacciones dinámicas con la atmósfera y con las capas que lo componen; interactúa con el clima y el ciclo hidrológico, y es el medio de crecimiento de organismos vivos, por lo que cumple un papel ambiental relevante como reactor biofísicoquímico que transforma materiales y recicla nutrientes para la regeneración continua de la vida en la Tierra (Hillel, 1998). El suelo, el medioambiente y la productividad se benefician cuando el potencial edáfico es administrado de manera sostenible (Murillo et al., 2014).

Relación de los recursos suelo y agua con la producción agropecuaria

Las actividades antrópicas en la explotación agropecuaria propician una continua degradación de los recursos naturales —degradación física, química y biológica del suelo—, lo que conlleva a la disminución de la materia orgánica (MO), la acidificación o alcalinización del suelo, la compactación de este, la desertificación, entre otras, condiciones que afectan de forma negativa la capacidad productiva de los suelos para la producción sostenible de alimentos.

En este contexto, es perentoria la implementación de prácticas de agricultura de conservación que mejoren las propiedades del suelo, y con esto su salud, con el fin de propiciar condiciones favorables para el óptimo desarrollo de los cultivos por medio de un uso eficiente del agua. Se ha planteado la conveniencia de implementar prácticas integrales de manejo del suelo como estrategias para el mejoramiento, recuperación o mantenimiento de sus propiedades y su capacidad productiva (Murillo et al., 2014). Cabe resaltar que Colombia cuenta con una Política para la Gestión Sostenible del



Suelo (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016) y una normatividad nacional e internacional encaminada a su protección.

Generalidades de los suelos del departamento del Cesar

Los suelos del Cesar se componen de las siguientes unidades morfoestructurales: la Sierra Nevada de Santa Marta, la Serranía de los Motilones o del Perijá y la cuenca de sedimentación de los ríos Magdalena y Cesar; los suelos de aptitud alta para la producción agropecuaria se encuentran en el paisaje de valle, con relieve ligeramente plano, pendientes menores al 3 %, por debajo de los 100 m s. n. m., con clima cálido seco, ubicados en la cuenca de los ríos Cesar, Ariguaní, Calenturitas, Tucuy, Cazacará y San Alberto. Son suelos sedimentarios formados en una extensa cuenca de relleno progresivo, en un ambiente aluvial (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], 2013). El suelo trabajado en el proyecto se clasificó como Typic Haplustepts franco isohipertérmico micáceo cuarcítico O-1 %.

Según el IGAC (“Suelos del Cesar”, 2016), el 64 % del departamento cuenta con desarrollos agropecuarios, aunque solo el 34 % alberga suelos con características para tal fin. La ganadería y cultivos como la palma africana, el arroz, el algodón y varios frutales están esparcidos por más de la mitad del departamento, ya que la actividad agropecuaria, junto con la de servicios y la minería, son las que más aportan a su economía (“Suelos del Cesar”, 2016). Sin embargo, este sobredimensionamiento de la agricultura y la ganadería afecta considerablemente la sostenibilidad de los recursos naturales del departamento y genera que las zonas de protección y forestales disminuyan, teniendo en cuenta además que el 62,2 % del departamento cuenta con suelos no arables (agroforestales) y de conservación ambiental (“Suelos del Cesar”, 2016).

El Cesar es el cuarto departamento de Colombia con mayor porcentaje de área con conflictos de uso del suelo, superado solo por Sucre, Atlántico y Magdalena (“Suelos del Cesar”, 2016). El 63 % de los suelos presenta un uso inadecuado: el 32,4 %, por sobreutilización, y el 30,6 %, por subutilización, por lo que solo el 35 % del territorio respeta la verdadera vocación y capacidad del suelo (“Suelos del Cesar”, 2016). Se considera que el 90 % de los suelos del departamento del Cesar con potencial agrícola ha sufrido un proceso de deterioro de sus características físicas, químicas y biológicas, lo que ha afectado su capacidad productiva y el potencial de producción de los principales sistemas agropecuarios de la región, perjudicando los ingresos de los productores rurales (Murillo et al., 2014).



Caracterización fisicoquímica de los suelos en los sistemas de producción de maíz, pastos, sorgo, mango, cítricos y silvopastoriles en el C. I. Motilonia

Se seleccionaron los lotes para el establecimiento de los cultivos —o, en su defecto, se delimitaron las áreas por intervenir—, se levantaron los polígonos y se hizo el muestreo y caracterización del suelo en cada lote.

Localización de los lotes de establecimiento de los cultivos priorizados

Los lotes hacen parte del C. I. Motilonia de AGROSAVIA, ubicado en el municipio de Agustín Codazzi (10° 1' 55,4" N y 73° 13' 29,9" O), kilómetro 5 vía a Becerril, en el departamento de Cesar, Colombia. Se seleccionaron los siguientes lotes: un lote de producción de forrajes (lotes 10A y 11A), a escala comercial, fertirrigado con un pivote central (30,5 ha), el cual es alimentado con aguas subterráneas de dos pozos profundos. Los siguientes lotes hacen parte del minidistrito de riego: dos lotes con sistemas silvopastoriles (SSP), uno ordenado (SSPO: 2A1) y otro con árboles dispersos (SSPAD: 5A6), cada uno con un sistema de riego por aspersión con una red de hidrantes fijos; cada sistema de riego cubre un área de 0,5 ha. Los siguientes son dos lotes bajo riego por goteo, con cultivos de mango (3A6 y 4A1), y uno con cítricos (4A1), cada uno con una cobertura de 1 ha (figura 1.1). En cada uno de los lotes se realizó una descripción del suelo por medio de puntos de observación o calicata.

Metodologías empleadas para la caracterización de los suelos

La caracterización de suelos del C. I. Motilonia inició con la descripción de un punto de observación de tipo identificación, correspondiente a una excavación de forma cúbica, conocida como “cajuela”, con dimensiones de 0,6 × 0,6 × 0,7 m, en cada uno de los lotes, con la que se examinaron los primeros horizontes en sus tres dimensiones (largo, alto y ancho). Para cada lote, se evaluaron propiedades hidrofísicas y químicas —con tres repeticiones para cada lote—, como la velocidad de infiltración, la cual se determinó por el método de anillos concéntricos con carga variable (IGAC, 2006;



United States Department of Agriculture [USDA], 1999), determinando los parámetros asociados al fenómeno, como la infiltración básica, la infiltración instantánea y la infiltración acumulada, establecidas por Horton (1939), utilizando el modelo de Kostiakov (1932).



Figura 1.1. Localización de los lotes de establecimiento de los cultivos priorizados. a. Vista general; b. Vista detallada a escala 1:100.

Fuente: Elaboración propia

Entre las propiedades físicas, se evaluó la textura, la cual se determinó por el método de Bouyoucos o con el hidrómetro (IGAC, 2006), estableciendo los rangos de variación de las clases texturales en el triángulo textural del USDA (Soil Survey Division Staff [SSDS], 2017). La densidad aparente se determinó por el método del cilindro de volumen conocido (IGAC, 2006), tomando una muestra de suelo sin disturbar en campo. La densidad real se determinó por el método del picnómetro (IGAC, 2006). Para la estimación del punto de marchitez permanente, se desarrolló un método biológico con plantas de soya, en el que se utilizó suelo tamizado en 5 mm, que luego se agregó a materas con peso conocido, y se siguió el procedimiento descrito a continuación, similar al citado por Gavande (1991):



1. Se consolidó el suelo sometándolo a humedecimientos y secados.
2. Se aplicó agua para sembrar, buscando que el suelo estuviera en una humedad cercana a capacidad de campo, lo cual se consiguió con un riego abundante y esperando que se drenara el agua en exceso.
3. Se sembraron semillas de soya, y se mantuvo el agua de riego hasta que las plantas desarrollaran tres hojas verdaderas, punto en el cual se suspendió el riego y se esperó hasta que las plantas presentaran síntomas de marchitez.
4. Se llevaron las plantas a cámara húmeda por doce horas. En este caso, se adaptó un horno con bandejas de agua y cortinas alrededor, con el fin de mantener una alta humedad.
5. En este punto se realizó seguimiento, sacando las plantas de la cámara húmeda y volviendo a hidratarlas, hasta que después de las doce horas estas no presentaron síntomas de recuperación, con lo que se consideró que la humedad del suelo estaba en punto de marchitez permanente, momento en el cual se realizó la recolección de muestras para determinar la humedad por el método gravimétrico (IGAC, 2006).

En cuanto a las características químicas, se evaluó el contenido de bases intercambiables mediante la técnica de plasma por acoplamiento inductivo con espectroscopia de emisión óptica (ICP-OES). Para la determinación del K, el Ca, el Mg y el Na de la fase intercambiable del suelo, se siguió la metodología propuesta por la NTC 5349 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [Icontec], 2016), usando acetato de sodio como solvente de extracción. Por su parte, para la extracción de Mn, Cu y Zn, se usó una solución ácida de Mehlich-I, según lo expuesto en la NTC 5526 (Icontec, 2007). Para la extracción de B y S, se usó una solución de fosfato monobásico de calcio, y para su cuantificación se usaron métodos colorimétricos y turbidimétricos, respectivamente. Finalmente, la extracción de P se hizo con una solución Bray II, según lo propuesto por la NTC 5350 (Icontec, 2014).

De igual forma, se evaluó el pH por el método potenciométrico, determinado en suspensión de suelo-agua en relación 1:1 (Icontec, 2008a; IGAC, 2006), así como la conductividad eléctrica (CE), con un conductímetro, según la NTC 5596 (Icontec, 2008b), realizando en este caso un muestreo georreferenciado, sobre una malla de puntos ubicados sobre cada lote. Con el fin de realizar un mapeo de dichas propiedades, se seleccionó el modelo de distribución espacial de mejor ajuste con el *software* R 3.4.1,



se utilizó el método de interpolación de *kriging* y, por medio de la herramienta ArcGIS 10.1, se representaron los resultados de forma gráfica.

Descripción del suelo a escala general (1:100.000)

La capacidad de uso del suelo del C. I. Motilonia, obtenida a partir del *Estudio general de suelos y zonificación de tierras - Departamento del Cesar - Escala 1:100.000*, elaborado por el IGAC en 2013, corresponde casi en su totalidad a la capacidad de uso del suelo denominada “3s”, la cual se encuentra en el 20,4 % del área total del departamento del Cesar y corresponde a tierras en glacia, vallecitos de piedemonte y planicies de inundación del valle, con suelos bien drenados, profundos, de relieve ligeramente plano a ligeramente inclinado, con pendientes del 0 al 7 %. En este grupo se presenta deficiencia de humedad para cultivos y pastos, reacción moderada y ligeramente ácida, fertilidad natural moderada, con erosión ligera en sectores (IGAC, 2013).

A partir del documento elaborado por el IGAC en 2013, se determinó que la unidad cartográfica de suelos denominada PWC ocupa casi en su totalidad el C. I. Motilonia. Esta unidad corresponde a suelos de piedemonte, de clima cálido seco y muy seco, en relieve de abanicos subcrecientes a partir de sedimentos coluvio-aluviales, finos y medios (IGAC, 2013). Son suelos muy superficiales y moderadamente profundos, de texturas medias y moderadamente finas, bien e imperfectamente drenados, con altos contenidos de sales y fertilidad natural baja y muy baja (IGAC, 2013). Corresponden a una asociación de inceptisoles de régimen ústico, y se encuentran en el 6 % del área del departamento del Cesar (IGAC, 2013).

Resultados y recomendaciones de uso y manejo de suelo en los lotes de los cultivos priorizados

A continuación, se presentan los resultados de la caracterización química y física de los lotes, su descripción, así como algunas recomendaciones de manejo para cada sistema productivo.



Lote con cultivos de pasto, sorgo y maíz, bajo sistema de riego con pivote central

Como se presenta en la figura 1.2, se definió un área bajo riego por pivote central para la producción de pasto, sorgo y maíz, en la que se establecieron dos puntos de observación, teniendo en cuenta que previamente se había logrado identificar dos zonas dentro del área, según el comportamiento del pH, así: zona con pH alcalino y zona con pH neutro. En esta área predomina un suelo clasificado como Typic Haplustepts, con textura franca, pendiente plana y régimen de temperatura isohipertérmico. La tabla 1.1 presenta los resultados obtenidos en la caracterización química, realizada a partir de un muestreo en cinco puntos. En la figura 1.2 se muestra la representación espacial del pH y de la CE en el lote, donde se pueden observar las dos zonas contrastantes, diferenciadas por los tonos violeta, fucsia y azul oscuro, para el caso de la zona con pH alcalino, y el tono azul claro, para la zona con pH neutro.

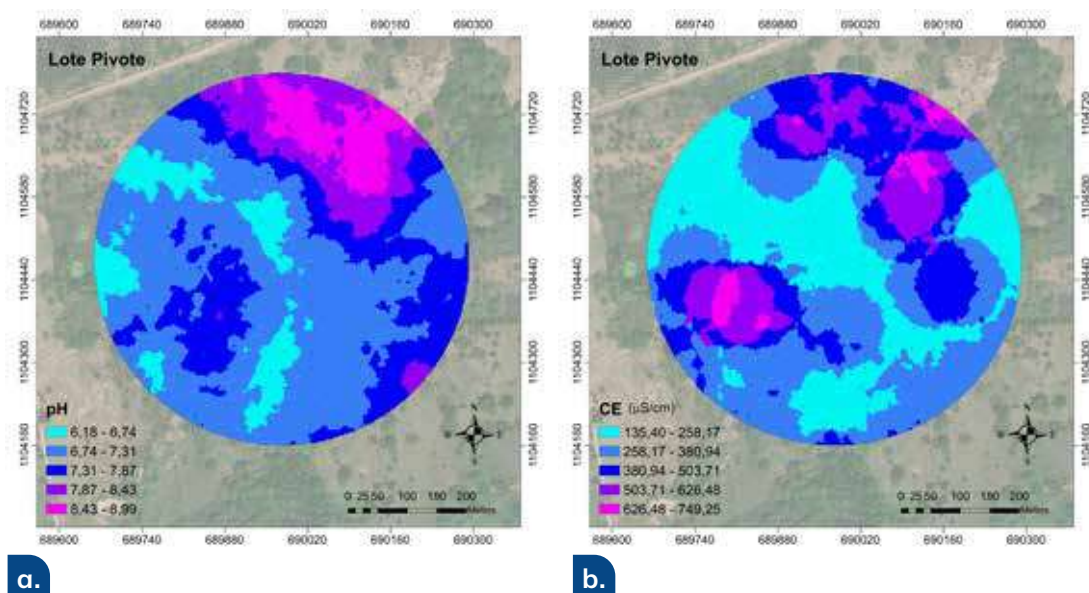


Figura 1.2. Distribución espacial del lote con pivote central con el método de *kriging*. a. pH; b. CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

Fuente: Elaboración propia



Tabla 1.1. Caracterización química del lote con pivote central

Característica	Promedio	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Bajo ⁺	Alto ⁺
pH	7,22	0,47	14,33	5,5	7
CE (dS/m)	1,27	0,4	79,02		
Capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) (m _{eq} /100 g)	12,22	3,31	11,49	<15	>25
MO (%)	3,06***	1,26	33,92	<2	>4
Potasio intercambiable (mg/kg)	118,40**	11,87	12,71	<78,2	>234
Calcio intercambiable (mg/kg)	1.824**	674,63	674,69	<801	>2.500
Magnesio intercambiable (mg/kg)	198,60**	14,99	15,5	<60,8	>486
Sodio intercambiable (mg/kg)	264***	185,51	185,89		>229
Hierro (mg/kg)	50,04**	16,01	18,01	<30	>50
Manganeso (mg/kg)	83,66	19,98	21,17	<40	
Cobre (mg/kg)	3,62**	0,51	28,12	<1	
Zinc (mg/kg)	3,94**	0,99	26,37	<1,6	
Boro (mg/kg)	0,62*	0,06	162,18	<1,5	>3
Fósforo (mg/kg)	126,96***	40,35	41,14	<15	>50
Azufre (mg/kg)	36,42**	15,44	18,18	<10	
Saturación de sodio (%)	9,63	6,33	16,71		
Relación calcio/magnesio	5,65	2,38	20,09		

⁺ Adaptado según Landon, citado por McKean (1993)

* Bajo; ** medio; *** alto

Fuente: Elaboración propia con base en IGAC (2014)



De acuerdo con las características del suelo, se optó por ubicar el pasto *Megathyrsus maximus* cultivar Agrosavia Sabanera en la zona de mayor alcalinidad, por su buena adaptación a suelos con pH de hasta 8 (Peters et al., 2011), en 5 ha, mientras que el sorgo se ubicó en el suelo con una alcalinidad intermedia, considerando que este es tolerante a condiciones de sequía y salinidad (Mejía Kerguelén et al., 2020), en 10 ha, y se planificó establecer el maíz en áreas que no superaran un pH de 7,5, en 15 ha. Como se observa en la figura 1.2, la variabilidad espacial del pH del suelo permitió identificar áreas contrastantes: la zona más crítica se identificó con colores violeta, fucsia y azul oscuro, y los suelos con alcalinidad moderada se representaron con tonos azules claros. Es importante resaltar que el suelo tiene una variabilidad en su calidad, lo cual se refleja en el desarrollo variable de los cultivos, siendo más crítico en las áreas con tonalidad violeta-fucsia, que presentan un pH mayor de 7,8, con un porcentaje de sodio intercambiable cercano al 15 %, propio de un suelo sódico (tabla 1.2). Para estas áreas críticas, se recomienda aplicar enmiendas, como MO, preferiblemente de forma periódica y en cantidades superiores a 2 t/ha/año, o azufre elemental o yeso (Pizarro, 1978), en dosis entre 0,3 y 0,6 t/ha/año, con previo monitoreo del suelo. Estas enmiendas son una fuente de acidez que propician el mejoramiento del pH, con lo que se aumenta la disponibilidad de los nutrientes y se facilita el desplazamiento del sodio. Dado que la relación de Ca/Mg tiende a ser alta, lo que genera una baja asimilación del magnesio, se debe tener en cuenta el aporte de este elemento en el plan de fertilización, y se puede aplicar de forma foliar.

Las enmiendas deben ser aplicadas en el momento de la adecuación del terreno, para lograr que se incorporen; por otra parte, es necesario drenar las aguas de esorrentía de forma eficiente, para propiciar el lavado del sodio en las épocas lluviosas, aprovechando las precipitaciones altas. Para facilitar el lavado, se debe realizar una red de drenajes superficiales teniendo en cuenta la dirección de la pendiente.

En cuanto al contenido de sales, reflejado en una alta CE, en la figura 1.2 se observa que estos corresponden a la zona con mayor pH. Los valores se encuentran por debajo del valor crítico, que corresponde a 2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, pero, debido al exceso de sodio, se hace necesario realizar los lavados. Para estos suelos con tendencia a la alcalinidad, buscando regular el pH, es recomendable el uso de fertilizantes en forma de sulfatos de alta solubilidad para que sean de fácil aplicación mediante un sistema de fertirrigación. Las propiedades hidrofísicas medidas en los puntos de observación, correspondientes a las zonas con pH alcalino y neutro, se presentan en la tabla 1.2.



Tabla 1.2. Propiedades hidrofísicas de los suelos del lote con pivote central

Propiedad	Zona con pH alcalino	Zona con pH neutro
Infiltración acumulada (cm)	0,3298 t ^{0,154} R ² = 0,85, t: min	0,5323 t ^{0,245} R ² = 0,85, t: min
Infiltración instantánea (cm/h)	3,0434 t ^{-0,846}	7,8120 t ^{-0,755}
Infiltración básica (mm/h)	0,16	0,77
Humedad en punto de marchitez permanente _{soya} (%)	10,1	11,87
Humedad a capacidad de campo en campo (%)	30,5	26,5
Textura	Arcillosa	Franco-arenosa
Densidad real (g/cm ³)	2,5	2,53
Densidad aparente (g/cm ³)	1,52	1,66
Porosidad total (%)	53,4	47,5

Fuente: Elaboración propia

Los suelos con menor pH, correspondientes a la zona de tonalidad azul clara (figura 1.2), presentan una textura franco-arenosa, con una densidad aparente del suelo de 1,66 g/cm³, con pH neutro-moderadamente alcalino, teniendo en cuenta que la porosidad total es del 47,5 %, es decir, baja. Por su parte, en la zona alcalina la porosidad total es del 53,4 %, con una densidad aparente de 1,52 g/cm³, lo que indica que el suelo está compactado y debe ser corregido con labranza (Jaramillo Jaramillo, 2002) y aportes de MO. Por otro lado, la presencia de sodio en dichas áreas, en cantidades importantes en diferentes partes del lote, hace que el movimiento del agua en el suelo sea lento; para mejorar el drenaje interno de los suelos, es necesario realizar labranza profunda para mejorar la aireación.

Lote con pastura manejada

Los elementos intercambiables de este suelo presentan un pH promedio de 7,4 —moderadamente alcalino—, una CE apta para el desarrollo de pasto guinea y una capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) moderada (tabla 1.3). En este caso, la fertilización de los cultivos debe contemplar aportes de nitrógeno, potasio y elementos menores; en cuanto al fósforo, se encuentra muy abundante, por lo que, para mejorar su solubilidad en este suelo con pH alcalino, las fuentes de fertilizantes pueden ser en forma de sulfatos, y es recomendable aplicar MO en el establecimiento y la renovación de las pasturas.



Tabla 1.3. Caracterización química del lote con pastura manejada

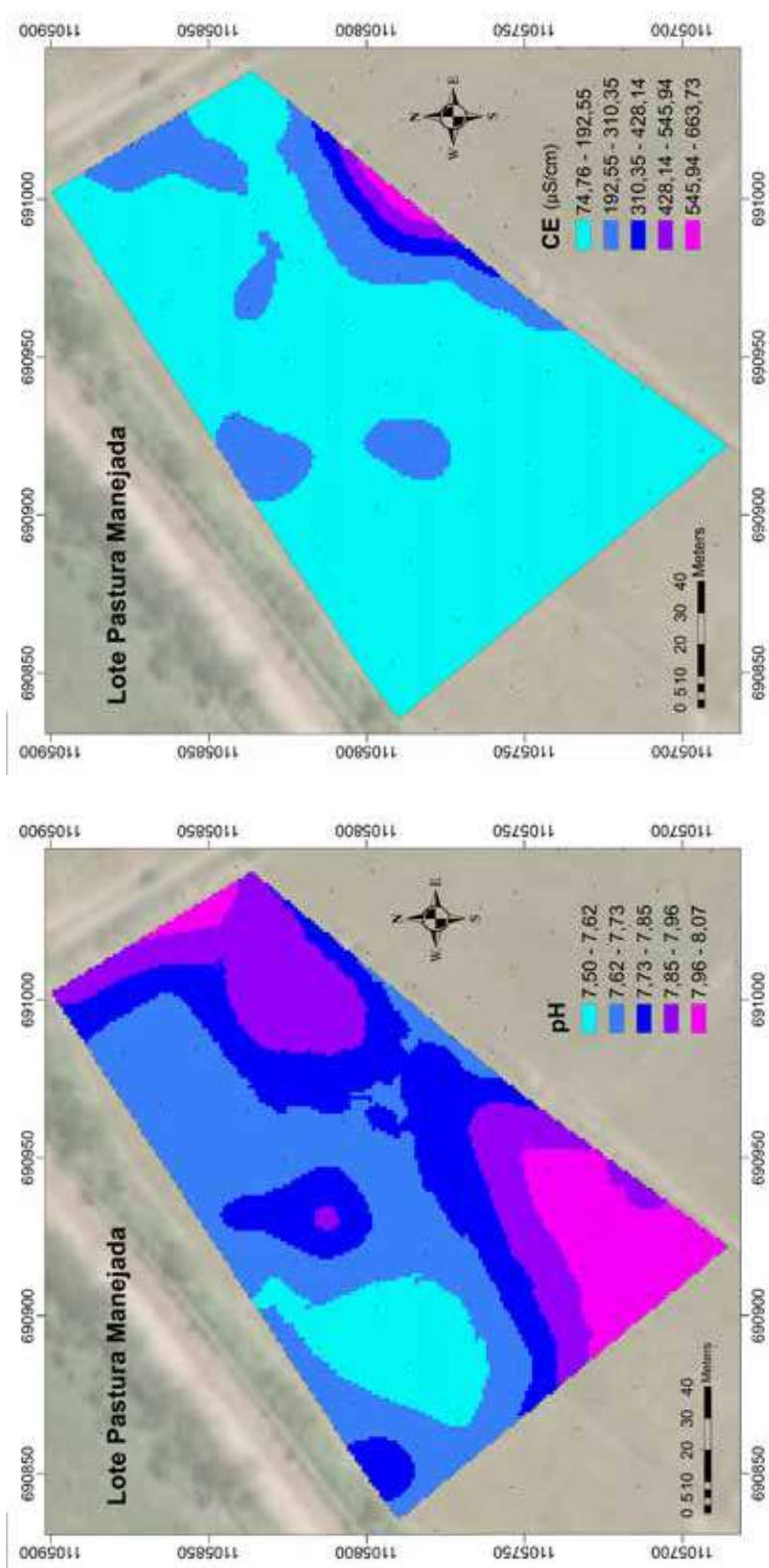
Característica	Valor
pH	7,41
CE (dS/m)	0,53
CICE (m _{eq} /100 g)	14,30
MO (%)	3,83
Potasio intercambiable (mg/kg)	172*
Calcio intercambiable (mg/kg)	2.500***
Magnesio intercambiable (mg/kg)	142**
Sodio intercambiable (mg/kg)	50***
Hierro (mg/kg)	33,10**
Manganeso (mg/kg)	69,70**
Cobre (mg/kg)	7,52***
Zinc (mg/kg)	7,52**
Boro (mg/kg)	1,05*
Fósforo (mg/kg)	444***
Azufre (mg/kg)	11,40**

* Bajo; ** medio; *** alto

Fuente: Elaboración propia

En la figura 1.3 se muestra la variabilidad espacial del pH y la CE, respectivamente; el pH fluctúa entre 6,22 y 8,08, con una media de 7,5, y la CE presenta una media de 492 $\mu\text{S}/\text{cm}$, en un rango entre 93 y 856 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En general, los niveles en ambas propiedades se consideran buenos para el establecimiento de la mayoría de los cultivos (McKean, 1993) y aptos para pasto guinea (*M. maximus*) cv. Tanzania (Peters et al., 2011). En las áreas con tonos morados, posiblemente se vea disminuida la producción de biomasa del cultivar Agrosavia Sabanera por las condiciones de alta alcalinidad, con un pH del suelo superior a 7,8 (Ipaz et al., 2023).

En la tabla 1.4 se observa que el lote con pastura manejada presenta un suelo con una textura franco-arcillo-arenosa, con una densidad aparente de 1,6 g/cm^3 , y, considerando que la porosidad fue del 51 %, hay un grado leve de compactación. En campo se corroboró que este suelo en seco es muy masivo. Además, se debe tener presente que el pisoteo de los animales puede disminuir el espacio poroso del suelo. Se recomienda hacer un seguimiento de esta propiedad en el tiempo y realizar labranza vertical en los primeros 30 cm, para mejorar la aireación del suelo.



b.

a.

Figura 1.3 Distribución espacial del lote con pastura manejada. a. pH; b. CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

Fuente: Elaboración propia



Tabla 1.4. Propiedades hidrofísicas de los suelos del lote con pastura manejada

Propiedad	Valor
Infiltración acumulada (cm)	$0,174 t^{0,36}$ $R^2 = 0,9689$, t: min
Infiltración instantánea (cm/h)	$3,7574 t^{-0,64}$
Infiltración básica (mm/h)	0,83
Humedad en punto de marchitez permanente _{soya} (%)	18,42
Humedad a capacidad de campo en campo (%)	26
Textura	Franco-arcillo-arenosa
Densidad real (g/cm ³)	2,5
Densidad aparente (g/cm ³)	1,6
Porosidad total (%)	51

Fuente: Elaboración propia

Sistema silvopastoril con árboles dispersos y ordenados

Los arreglos agroforestales, como un sistema sostenible de uso de la tierra, se adaptan a la estrategia de desarrollo sostenible y son herramientas promisorias para mejorar el bienestar de la población rural y la conservación de su base de recursos (Moran Moreno et al., 2014). Los sistemas silvopastoriles (SSP) por lo general incluyen pastos mejorados de alto vigor y productividad, asociados con arbustos o árboles forrajeros (Ramírez-Iglesias et al., 2020).

El suelo presenta contenidos de calcio, magnesio y potasio en concentraciones cercanas al umbral inferior medio, con una CICE menor a 6,7, considerada como baja. En la tabla 1.5 se observan contenidos bajos y moderados de los elementos mayores y menores. Los elementos en bajas concentraciones deben aportarse en la fertilización, según el balance de nutrientes entre el suelo y lo que extraen los cultivos. Es importante tener en cuenta que los SSP, al tener especies con raíces profundas, generan biomasa, la cual queda en forma de *mulch* en la superficie y representa un aporte de MO para el primer horizonte del suelo y una fuente de nutrientes disponible para la producción de forraje.

La distribución espacial del pH en el SSP con árboles dispersos o aleatorios fluctuó entre 5,9 y 7,8, con un promedio de 6,7. En el SSP ordenado, estuvo entre 6,0 y 7,3, con un promedio de 6,5, y la CE en ambos fue inferior a 816 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (figura 1.4). Los dos



parámetros se encuentran en un rango normal para el pasto guinea (Peters et al., 2011) que se encuentra bajo los arreglos de SSP.

Tabla 1.5. Caracterización química del lote con pasto guinea (*M. maximus*) cv. Tanzania bajo un arreglo de SSP aleatorio y ordenado

Característica	SSP aleatorio	SSP ordenado
pH	5,99	6,09
CE (dS/m)	0,95	0,47
CICE ($m_{eq}/100\text{ g}$)	6,70*	6,58*
MO (%)	3,71**	3,43**
Potasio intercambiable (mg/kg)	136**	164**
Calcio intercambiable (mg/kg)	985**	940**
Magnesio intercambiable (mg/kg)	149**	154**
Sodio intercambiable (mg/kg)	46	46
Hierro (mg/kg)	46,5**	50,8**
Manganeso (mg/kg)	26,4*	61,2**
Cobre (mg/kg)	3,85**	4,25**
Zinc (mg/kg)	3,85**	4,25**
Boro (mg/kg)	0,46*	0,41*
Fósforo (mg/kg)	140***	124***
Azufre (mg/kg)	9,93*	7,53*

* Bajo; ** medio; *** alto

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de las propiedades hidrofísicas del SSP ordenado arrojaron una textura franco-arenosa, con una densidad aparente de $1,58\text{ g/cm}^3$ y una buena porosidad total, del 50,7 %, valores que no representan problemas. En cuanto al SSP aleatorio, se encontró un 46,8 % de porosidad total, con una textura franco-arcillosa y una densidad aparente de $1,61\text{ g/cm}^3$, presentando compactación (tabla 1.6). Es importante monitorear esta propiedad en suelos con potreros en rotación y mejorar la aireación con labranza.

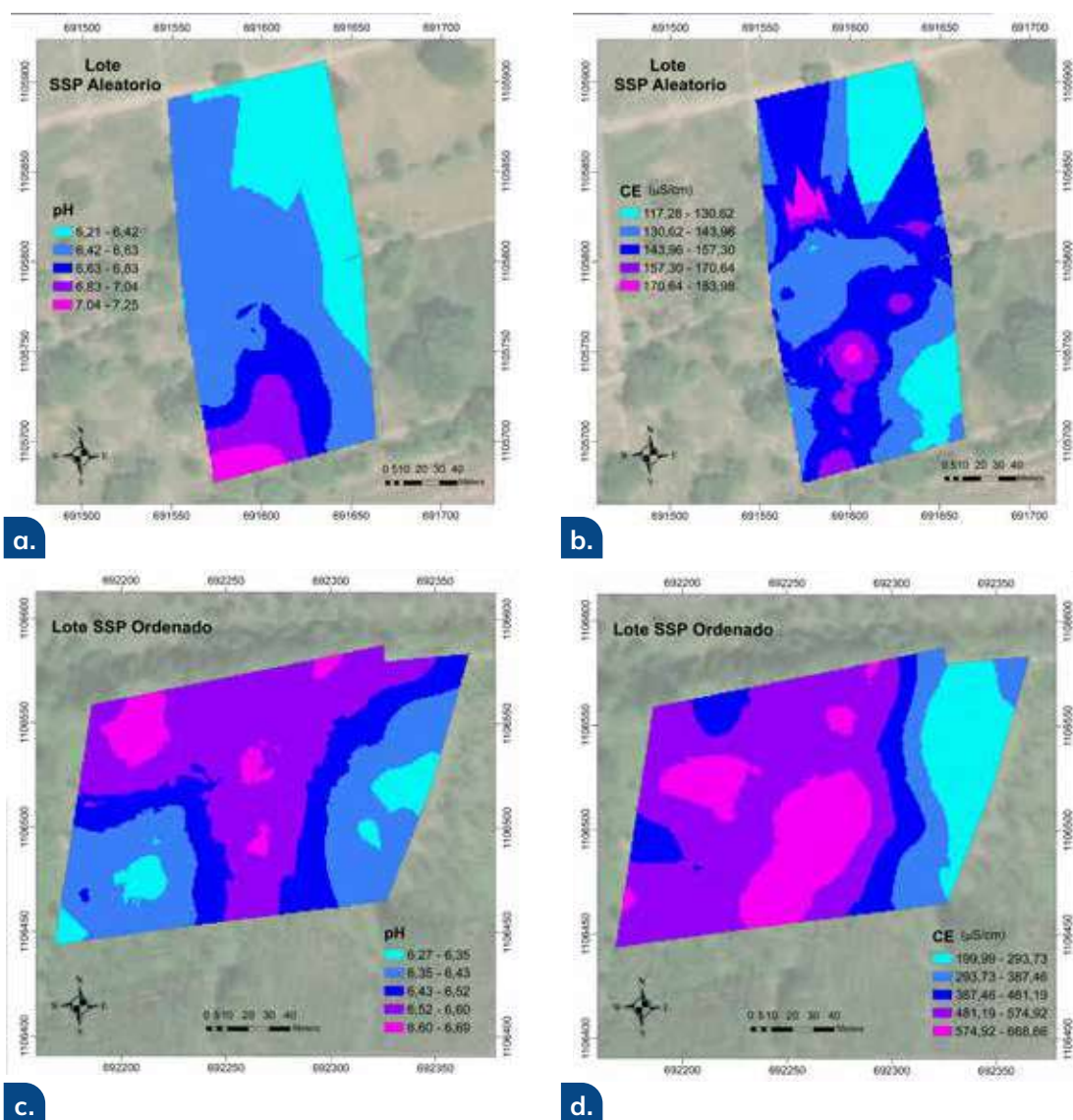


Figura 1.4. Distribución espacial del pH y la CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) del lote con SSP. a y b. SSP aleatorio; c y d. SSP ordenado.

Fuente: Elaboración propia



Tabla 1.6. Propiedades hidrofísicas de los suelos de los lotes con SSP

Propiedad	SSP aleatorio	SSP ordenado
Infiltración acumulada (cm)	$0,3188 t^{0,564}$ $R^2 = 0,986$, t: min	$0,6925 t^{0,637}$ $R^2 = 0,9943$, t: min
Infiltración instantánea (cm/h)	$10,7901 t^{-0,436}$	$26,4590 t^{-0,363}$
Infiltración básica (mm/h)	9,53	37,44
Humedad en punto de marchitez permanente _{soya} (%)	9,46	8,58
Humedad a capacidad de campo en campo (%)	26,8	17,4
Textura	Franco-arcillosa	Franco-arenosa
Densidad real (g/cm ³)	2,5	2,3
Densidad aparente (g/cm ³)	1,61	1,58
Porosidad total (%)	46,8	50,7

Fuente: Elaboración propia

Lotes con cultivos de mango y cítricos

El cultivo de mango en el C. I. Motilonia cuenta con 1 ha sembrada, compuesta por tres lotes: el primero tiene 25 árboles (lote 3A5); el segundo, 120 (lote 4A1), y el tercero, 64 (lote 3A6); por su parte, el lote de cítricos, con cultivos de limón y naranja en establecimiento, cuenta con 144 árboles en 1 ha (lote 4A1). Cabe anotar que, antes de la siembra, los lotes eran potreros y lotes de experimentación.

Los elementos intercambiables presentan un contenido de bases moderado, una CICE baja y un contenido medio de MO en el suelo; de igual forma, los elementos menores están en una concentración moderada, excepto el manganeso, el boro y el azufre, que se encuentran bajos. Es importante estimar la fertilización con un balance de los nutrientes, teniendo en cuenta la disponibilidad de estos en el suelo y los requerimientos por fase fenológica. El fósforo se encuentra en cantidades altas y, con el pH de los suelos, se encuentra disponible (tabla 1.7).



Tabla 1.7. Caracterización química inicial de los lotes de mango y cítricos

Característica	Lote 3A5 (25 árboles de mango)	Lote 3A6 (64 árboles de mango)	Lote 4A1 (120 árboles de mango)	Lote 4A1 (144 árboles de cítricos)
pH	6,30	6,23	6,36	6,52
CE (dS/m)	0,38	0,59	0,57	0,49
CICE ($m_{eq}/100\text{ g}$)	7,01*	8,23*	5,89*	7,39*
MO (%)	2,69	3,47	2,79	2,71
Potasio intercambiable (mg/kg)	132**	136**	116**	148**
Calcio intercambiable (mg/kg)	1.080**	1.320**	910**	1.140**
Magnesio intercambiable (mg/kg)	132**	129**	99**	136**
Sodio intercambiable (mg/kg)	40	50	54	54
Hierro (mg/kg)	55,4***	68,4***	57,2***	55,6***
Manganeso (mg/kg)	38,9*	58,3**	34,7*	48,4*
Cobre (mg/kg)	4,23**	5,59**	3,83**	4,40**
Zinc (mg/kg)	4,23**	5,59**	3,83**	4,40**
Boro (mg/kg)	0,48*	0,59*	0,38*	0,69*
Fósforo (mg/kg)	171***	132***	145***	180***
Azufre (mg/kg)	6,03*	7,86*	7,80*	8,52*

* Bajo; ** medio; *** alto

Fuente: Elaboración propia

El pH en los lotes fluctuó espacialmente entre 6,5 y 7,5, y la CE, entre 39 y 852 $\mu\text{S}/\text{cm}$, condición que hace que los suelos sean aptos para los cultivos de mango y cítricos, ya que el requerimiento de pH es cercano a la neutralidad (García et al., 2017) y la CE se encuentra en valores normales (figura 1.5).

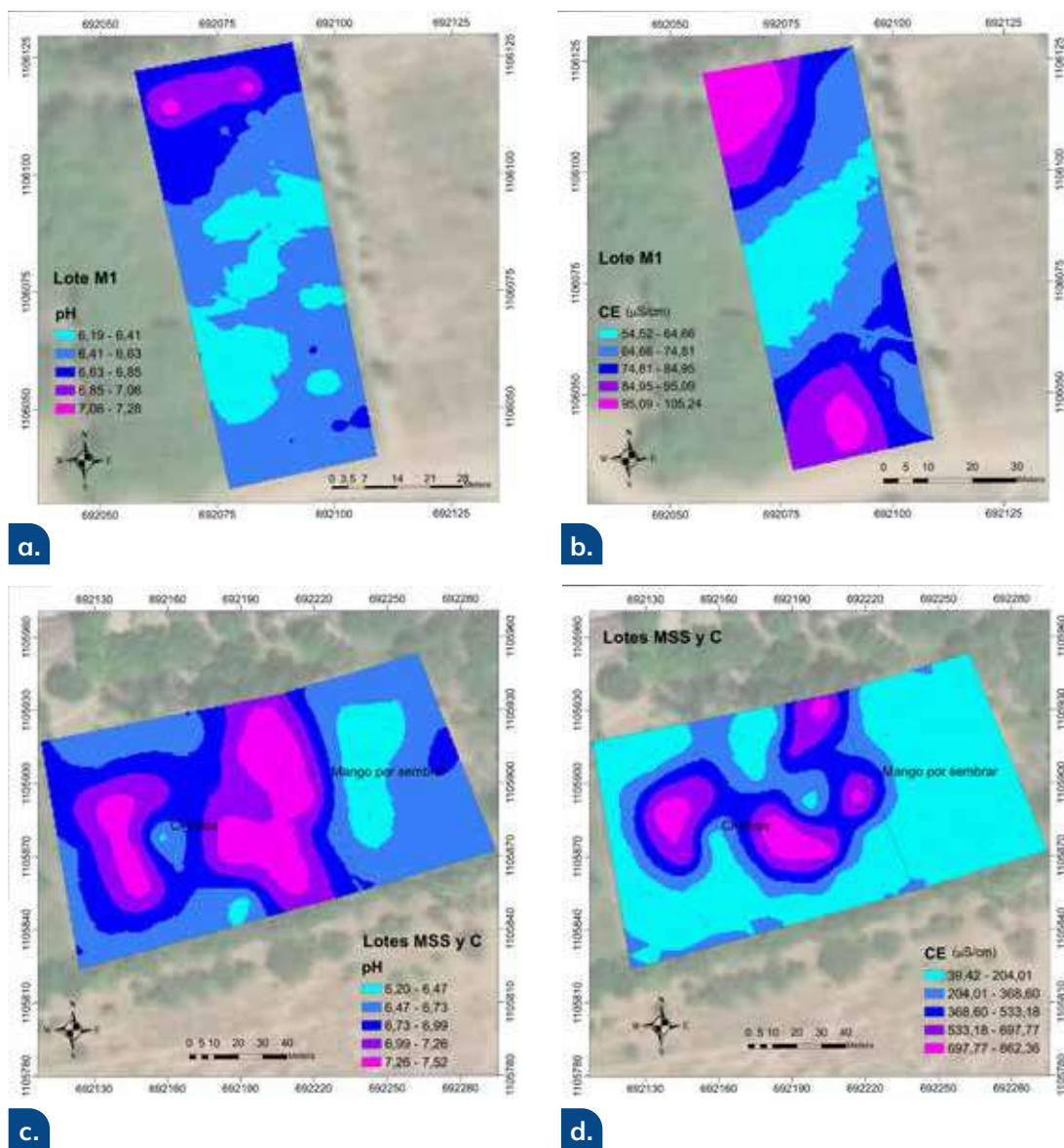


Figura 1.5. Distribución espacial del pH y la CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) de los lotes de mango y cítricos. a. pH del lote 3A6; b. CE del lote 3A6; c. pH de los lotes 4A1 (mango) y 4A1 (cítricos); d. CE de los lotes 4A1 (mango) y 4A1 (cítricos).

Fuente: Elaboración propia



En la tabla 1.8 se presentan los resultados obtenidos de las propiedades hidrofísicas del suelo, con texturas entre franco-arcillo-arenosa y franco-arenosa, densidades aparentes normales (teniendo en cuenta la textura y la densidad real) y porosidades totales del 52,9 % (cítricos), el 49,6 % (4A1 de mango) y el 43,7 % (3A6 de mango). La preparación de los lotes para los cultivos permanentes contempló una labranza profunda; en este caso, se realizó un pase de cincel rígido en cruz, con el fin de descompactar el primer y segundo horizontes, seguido de dos pases de arado de disco y un pase de pulidor.

Tabla 1.8. Propiedades hidrofísicas de los suelos de los lotes de mango y cítricos

Propiedad	Lote 4A1 de mango	Lote 3A6 de mango	Lote 4A1 de cítricos
Infiltración acumulada (cm)	$0,0808 t^{0,709}$ $R^2 = 0,9952$, t: min	$1,8563 t^{0,203}$ $R^2 = 0,9884$, t: min	$0,4344 t^{0,214}$ $R^2 = 0,9663$, t: min
Infiltración instantánea (cm/h)	$3,4392 t^{-0,291}$	$22,6543 t^{-0,797}$	$5,5699 t^{-0,786}$
Infiltración básica (mm/h)	7,68	1,66	0,44
Humedad en punto de marchitez permanente _{soya} (%)	7,27	16,43	11,38
Humedad a capacidad de campo en campo (%)	18,4	37,3	23,1
Textura	Franco-arcillo-arenosa	Franco-arcillo-arenosa	Franco-arenosa
Densidad real (g/cm ³)	1,96	2,55	2,11
Densidad aparente (g/cm ³)	1,41	1,8	1,52
Porosidad total (%)	49,6	43,7	52,9

Fuente: Elaboración propia



Análisis general

De acuerdo con la clasificación de las propiedades físicas determinada por Castro y Amézquita (1991), en la que se establecen rangos críticos para suelos con problemas de compactación, se observa que la mayoría de los lotes tienen texturas francas, a excepción del lote de mango sembrado con 64 árboles (3A6), donde el valor de densidad aparente supera el rango crítico. Por otra parte, la porosidad total de los suelos de los lotes con SSP, mango y pivote central está cerca o por debajo del valor crítico de suelos con problemas de compactación (porosidad $<50\%$ o infiltración básica $<0,36$ mm/h) (Jaramillo Jaramillo, 2002), a excepción de la zona del lote con pivote central de pH normal, cuyo valor de porosidad es adecuado.

En el área bajo sistema de riego con pivote central, se observó un suelo con textura arcillosa, correspondiente a la zona de pH alcalino; en este caso, la densidad aparente es alta, con una velocidad de infiltración básica de 0,16 mm/h, la cual es crítica ($<0,36$ mm/h), y la porosidad total es del 53,4 %. El movimiento del agua en el suelo en dicha zona es restringido, lo que en gran medida se debe al efecto del sodio presente en el suelo.

Murillo et al. (2014) mejoraron las condiciones de un lote de características similares —ubicado en el departamento del Cesar, al suroeste de la cabecera municipal de Valledupar—, con una reducción de la densidad aparente de 1,68 a 1,53 g/cm³, así como con el aumento de la porosidad del suelo del 33,28 al 41,2 %, de la infiltración básica de 0,5 a 1,3 mm/h, de la MO del 0,97 al 1,4 % y del azufre de 8,57 a 40,35 mg/kg, sin incrementos en la concentración de sodio ni en la CE, con el uso de enmiendas, el establecimiento de gramíneas y leguminosas y la aplicación de otras prácticas sostenibles. Este tipo de prácticas se recomienda en suelos sódicos con pH superiores a 8, con porcentajes de sodio intercambiable cercanos al 15 % y con condiciones físicas desfavorables, como compactación, falta de estructura y sellados en superficie.

Para lograr desplazar el sodio de la fase intercambiable, es necesario adecuar sistemas de drenaje superficial en el sentido de la pendiente y aprovechar que las aguas de lluvia y riego, con una fracción de lavado adicional, permitan el lavado del sodio; por otra parte, enmiendas como el azufre, la MO y fertilizantes en forma de sulfato son fuentes de acidez que permiten disminuir el pH y mejorar la asimilación de los nutrientes del suelo.



El aporte de nutrientes en la fertilización debe realizarse estimando las cantidades justas, teniendo en cuenta los minerales disponibles en la fase intercambiable del suelo, a una profundidad efectiva en la que se dé el desarrollo de más del 60 % de las raíces efectivas. Para tal fin, se deben tener en cuenta la densidad aparente del suelo y la extracción de los nutrientes de cada cultivo, dependiendo del propósito de la producción, y finalmente se debe ajustar la cantidad del fertilizante de acuerdo con su eficiencia. Los sistemas de fertirriego presentan la ventaja de aplicar los nutrientes a través del riego y de forma fraccionada. Según la fase fenológica de cada cultivo, se debe tener la precaución de mezclar fertilizantes compatibles y de alta solubilidad.

En general, se encontró que el contenido de fósforo en la fase intercambiable del suelo supera los 80 mg/kg, categorizado como muy alto; al respecto, se debe determinar si el pH del suelo es elevado, puesto que la disponibilidad del fósforo disminuye con la alcalinidad. En estos casos, es necesario implementar estrategias para mejorar la disponibilidad del nutriente. Se puede hacer uso de solubilizadores de fósforo, y, para suelos con pH alto, es recomendable utilizar enmiendas y fertilizantes que actúen como fuentes de acidez.

Otra tarea importante es realizar el monitoreo de la calidad del agua para riego. Durante el desarrollo del proyecto, se muestreó el agua subterránea y se obtuvieron los siguientes resultados (tabla 1.9):



Tabla 1.9. Valores promedio de los parámetros de calidad de agua en el C. I. Motilonia, 2019-2022

Parámetro	Pozo 1		Pozo 3		Pozo 4		Norma Máximo permitido (Decreto 1076 de 2015)
	Promedio	Desviación estándar	Promedio	Desviación estándar	Promedio	Desviación estándar	
Alcalinidad (mg/L)	252,14	52,80	229,29	59,74	235	40,03	200
Aluminio (mg/L)	0,10	NA	0,15	NA	0,09	NA	5
Arsénico (mg/L)	ND	NA	ND	NA	ND	NA	0,05
Azufre (mg/L)	3,54	2,66	4,61	2,53	6,67	2,86	NA
Bicarbonatos (mg/L)	300,43	60,68	275,43	74,76	238,99	108,88	10
Boro (mg/L)	0,05	0,03	0,05	0,03	0,05	0,03	4
Cadmio (mg/L)	ND	NA	ND	NA	ND	NA	0,01
Calcio (mg/L)	93,31	18,44	71,50	23,84	81,13	13,72	20
Carbonatos (mg/L)	4,80	NA	4,69	NA	4,82	NA	0,1
Cloruros (mg/L)	3,39	3,23	4,44	4,14	7,78	7	30
Cobre (mg/L)	0,05	0,04	0,02	0,01	0,02	0,01	0,2
Coliformes totales (NMP/100 mL)	518,03	957,92	188,30	257,10	126,22	239,76	5.000
CE (dS/m)	0,51	0,11	0,50	0,13	0,51	0,09	0,5
Cromo (mg/L)	ND	NA	ND	NA	0,03	NA	0,05
Dureza (mg/L)	250,14	48,48	204,43	60,49	227,71	35,98	120
<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)	10,32	13,78	1,87	1,38	1	0	NA
Floruros (mg/L)	0,14	NA	0,26	NA	0,19	NA	NA
Fósforo (mg/L)	0,31	0,19	0,34	0,30	0,23	0,13	NA
Hierro (mg/L)	0,02	0,01	0,03	0,02	0,02	0,01	5
Hierro (pH 2,0) (mg/L)	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	5
Magnesio (mg/L)	6,14	0,60	9,63	1,84	9,09	0,79	5
Manganeso (mg/L)	0,02	NA	0,13	0,06	0,03	NA	0,2
Molibdeno (mg/L)	0,04	NA	0,07	NA	0	0	0,01
Níquel (mg/L)	0,03	NA	0	0	0	0	0,2
Nitrógeno amoniacal (mg/L)	0,20	0,21	0,16	0,14	0,14	0,10	NA
Nitrógeno nítrico (mg/L)	2,24	0,96	1,23	0,52	1,48	0,49	NA



Parámetro	Pozo 1		Pozo 3		Pozo 4		Norma
	Promedio	Desviación estándar	Promedio	Desviación estándar	Promedio	Desviación estándar	Máximo permitido (Decreto 1076 de 2015)
pH	7,69	0,33	7,81	0,39	7,92	0,25	9
Plomo (mg/L)	0,01	0	0	0	0	0	0,05
Potasio (mg/L)	1,43	0,31	2,12	0,80	4,18	6,89	2
Relación de absorción de sodio (RAS)	0,24	0,02	0,38	0,10	0,40	0,06	Reporte
Salinidad efectiva (m _{eq} /L)	0,71	0,27	0,77	0,17	1,08	0,37	Reporte
Salinidad potencial (m _{eq} /L)	0,20	0,11	0,27	0,11	0,43	0,22	Reporte
Sodio (mg/L)	8,75	0,93	13	4,65	14,11	2,16	40
Sólidos disueltos totales (mg/L)	241,50	62,45	270,67	81,31	242	66,77	1.000
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	2,17	0,29	17,17	26,27	2,17	0,29	Reporte
Sólidos totales (mg/L)	206	18,83	258,75	117,38	202	20,78	Reporte
Sulfatos (mg/L)	9,13	NA	14,30	NA	16,60	NA	20
Turbidez (UNT)	0,22	0,10	2,25	3,84	0,25	0,10	5
Zinc (mg/L)	0,02	NA	0,03	NA	0,02	NA	2

NA: no aplica; ND: no detectado

Fuente: Elaboración propia

Tras analizar los resultados de calidad del agua, es posible establecer que, durante los cuatro años de muestreo (2019-2022), las muestras de agua subterránea presentaron valores por encima de los máximos permitidos, según el Decreto 1584 de 1994 (y su actualización, el Decreto 1076 de 2015, art. 2.2.3.3.3.1.), en parámetros como CE, calcio, magnesio, bicarbonatos, dureza y alcalinidad total. Por otro lado, los resultados de los análisis fisicoquímicos indican que el agua posee un pH neutro, sin problemas por salinidad, teniendo en cuenta los valores de relación de absorción de sodio (RAS). Tampoco presenta problemas por sólidos totales disueltos (TDS), y existe baja probabilidad de toxicidad en los cultivos por cloruros (Cl⁻), boro (B) o sodio (Na⁺). Asimismo, se recomienda tener en cuenta el aporte de sulfatos (SO₄⁼) por el agua en los planes de fertilización.



Los valores altos de alcalinidad, carbonatos y bicarbonatos hacen que exista una alta probabilidad de toxicidad por carbonatos (CO_3), por lo cual hay que prestar especial atención al manejo agronómico de los cultivos. Una alternativa para corregir la elevada alcalinidad del agua es el uso de fertilizantes de base ácida.

En cuanto al estudio, ninguna de las muestras presentó concentraciones elevadas de metales pesados; de hecho, estos elementos se encontraban en concentraciones por debajo del límite de detección del equipo.

Conclusiones

Las propiedades hidrofísicas evaluadas evidenciaron una degradación física de los suelos, que presentaron compactación, con altas densidades aparentes, baja porosidad total y, en casos extremos, baja infiltración básica. Además, se encontraron suelos sódicos, con pH elevados y con altas restricciones físicas y químicas, que dificultan el movimiento del agua en el suelo y la disponibilidad de los nutrientes. La adecuación de los suelos debe estar encaminada al mejoramiento de la aireación y el movimiento del agua en ellos, el acondicionamiento del pH y la fertilización en justas proporciones.

La distribución espacial de las propiedades de pH y CE del suelo permitió diferenciar áreas contrastantes en el interior de un lote, siendo posible la ubicación de las especies según su tolerancia y adaptabilidad a pH y contenido de sales críticos.

De manera general, la calidad fisicoquímica del agua subterránea del C. I. Motilonia es adecuada para riego; sin embargo, parámetros como la CE, el calcio, el magnesio, los bicarbonatos, la dureza y la alcalinidad total presentaron valores por encima del máximo permitido según la normatividad aplicable a riego agrícola en Colombia, además de que se debe prestar especial atención a la alta probabilidad de toxicidad en los cultivos por carbonatos. Por lo anterior, se sugiere implementar un tratamiento químico con reductores de alcalinidad, para mejorar la calidad del agua.



Referencias

- Castro, F., & Amézquita, C. E. (1991). Sistemas de labranza y producción de cultivos en suelos con limitantes físicos. *Suelos Ecuatoriales*, 21(1), 21-28.
- García, J., Abaunza, C. A., & Rivera, J. E. (2017). *Modelo productivo para el cultivo de mango en el valle del Alto Magdalena para el departamento del Tolima*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13756/81097_67170.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Gavande, S. A. (1991). *Física de suelos: principios y aplicaciones* (8.ª ed.). Limusa.
- Hillel, D. (1998). *Environmental soil physics*. Academic Press. <https://dewagumay.files.wordpress.com/2011/12/environmental-soil-physics.pdf>
- Horton, R. E. (1939). Analysis of runoff-plat experiments with varying infiltration-capacity. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 20(4), 693-711. <https://doi.org/10.1029/TR020i004p00693>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec). (2007). *Norma Técnica Colombiana (NTC) 5526. "Calidad de suelo. Determinación de micronutrientes disponibles: cobre, zinc, hierro y manganeso"*.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec). (2008a). *Norma Técnica Colombiana (NTC) 5264. "Calidad de suelo. Determinación del pH"*.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec). (2008b). *Norma Técnica Colombiana [NTC] 5596. "Calidad de suelo. Determinación de la conductividad eléctrica"*.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec). (2014). *Norma Técnica Colombiana [NTC] 5350. "Calidad de suelo. Determinación de fósforo disponible"*.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec). (2016). *Norma Técnica Colombiana [NTC] 5349. "Calidad de suelo. Determinación de las bases cambiables: método del acetato amonio 1m, pH 7,0"*.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2006). *Métodos analíticos del laboratorio de suelos* (6.ª ed.).
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2013). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras - Departamento del Cesar - Escala 1:100.000*.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2014). *Códigos para los levantamientos de suelos*. <http://igacnet2.igac.gov.co/intranet/UserFiles/File/procedimientos/instructivos/I40100-06-14.V1Codigos%20para%20los%20levantamientos%20de%20suelos.pdf>



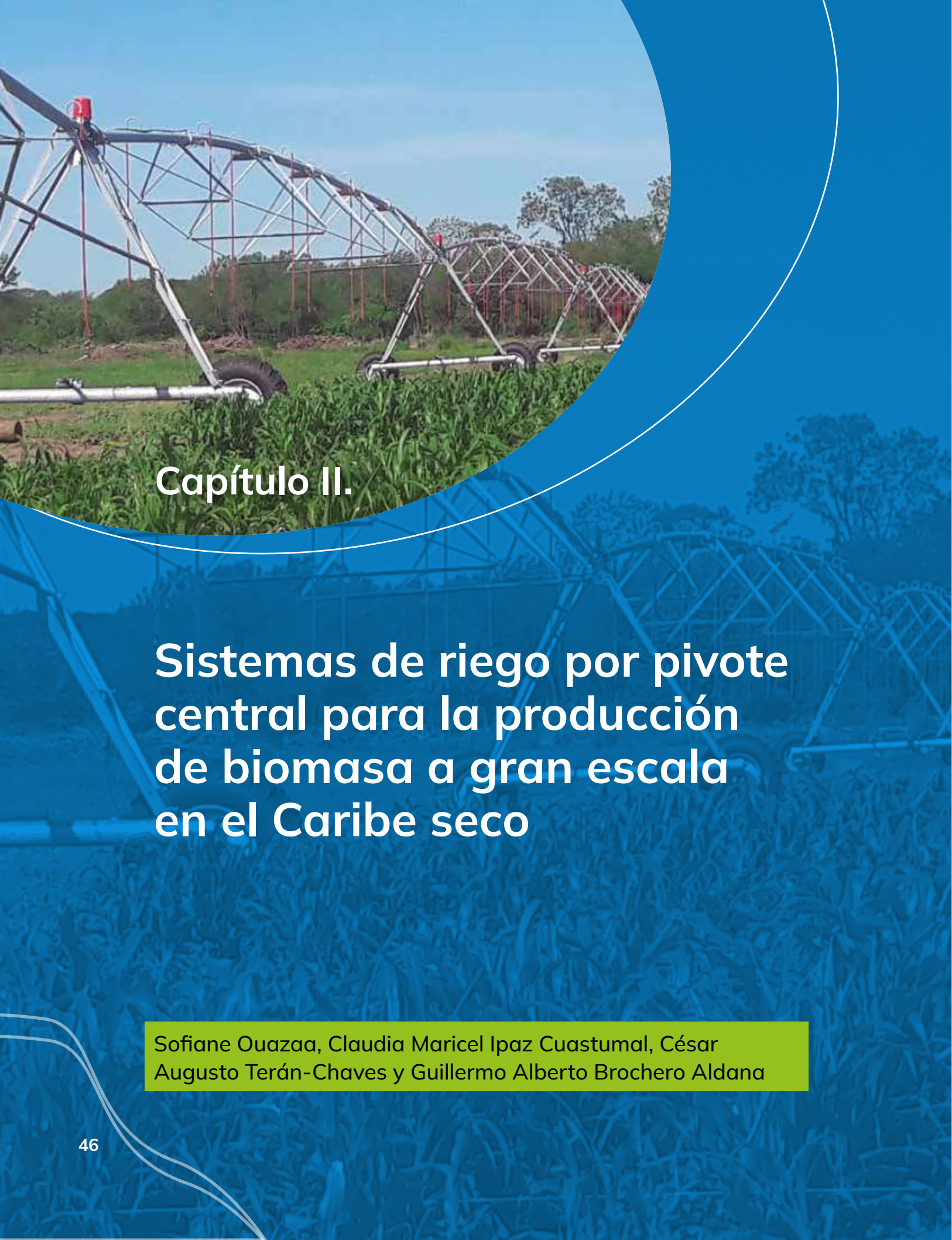
- Ipaz Cuastumal, C. M., Gómez Ramírez, L. F., & Tauta Muñoz, J. L. (2023). Productividad hídrica de *Megathyrsus maximus* cv. bajo fertirriego en un suelo con pH variable en el Caribe seco colombiano. *Ingeniería y Competitividad*, 25(3). <https://doi.org/10.25100/iyc.v25i3.13019>
- Jaramillo Jaramillo, D. F. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/70085/70060838.2002.pdf>
- Kostiakov, A. (1932). On the dynamics of the coefficient of water percolation in soils and necessity for studying it from a dynamic view for purposes of amelioration. *International Committee Society of Soil Science*, 61(A), 17-21.
- McKean, S. (1993). *Manual de análisis de suelos y tejido vegetal. Una guía teórica y práctica de metodologías*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/Digital/S593.M2_Manual_de_an%C3%A1lisis_de_suelos_y_tejido_vegetal_Una_gu%C3%ADa_de_t%C3%A9cnica_y_pr%C3%A1ctica_de_metodologia.pdf
- Mejía Kerguelén, S. L., Suárez Paternina, E., Tapia Coronado, J. J., & Atencio Solano, L. (2020). *Sorgo dulce forrajero Corpoica JYT18 (Sorghum bicolor): alternativa forrajera para la alimentación de bovinos en la región Caribe*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.brochure.7404005>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2016). *Política para la Gestión Sostenible del Suelo*. https://www.andi.com.co/Uploads/Pol%C3%ADtica_para_la_gesti%C3%B3n_sostenible_del_suelo_FINAL.pdf
- Moran Moreno, B., Herrera, A., & López Benavides, K. (2014). Evaluación socioeconómica y ambiental de tres tipos de sistemas agroforestales en el Trópico Seco Nicaragüense. *Revista Científica de FAREM-Estelí*, (11), 13-26. <https://doi.org/10.5377/farem.v0i11.1601>
- Murillo, J., Rodríguez, G., Roncallo, B., Rojas, L. A., & Bonilla, R. R. (2014). Efecto de la aplicación de prácticas sostenibles en las características físicas, químicas y microbiológicas de suelos degradados. *Pastos y Forrajes*, 37(3), 270-278.
- Peters, M., Franco, L. H., Schmidt, A., & Hincapié, B. (2011). *Especies forrajeras multipropósito: opciones para productores del trópico americano*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Forrajes_Tropicales/pdf/Books/Especies%20Forrajes%20MultipropositoTropico%20Americano.pdf
- Pizarro, F. (1978). *Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos*. Editora Agrícola Española.
- Ramírez-Iglesias, E., Cuenca, K., & Quizhpe, W. (2020). Manejo integrado de agroecosistemas en América Latina: una opción para maximizar la producción resguardando la biodiversidad. *Tekhne*, 23(1). <https://revistasenlinea.saber.ucab.edu.ve/index.php/tekhne/article/view/4472>



Soil Survey Division Staff (SSDS). (2017). *Soil survey manual* [Agriculture Handbook n.º 18]. United States Department of Agriculture (USDA). <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-09/The-Soil-Survey-Manual.pdf>

Suelos del Cesar no dan para tanto cultivo y ganado. (2016, 5 de diciembre). *Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC)*. <https://www.igac.gov.co/es/noticias/suelos-del-cesar-no-dan-para-tanto-cultivo-y-ganado>

United States Department of Agriculture (USDA). (1999). *Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo*. <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/Gu%C3%ADa%20para%20la%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20la%20Calidad%20y%20Salud%20del%20Suelo.pdf>



Capítulo II.

Sistemas de riego por pivote central para la producción de biomasa a gran escala en el Caribe seco

Sofiane Ouazaa, Claudia Maricel Ipaz Cuastumal, César Augusto Terán-Chaves y Guillermo Alberto Brochero Aldana



Introducción

El recurso agua es un insumo importante para la sociedad, y su preservación es un reto constante (Samian et al., 2015), pues la disponibilidad del agua dulce en el planeta es limitada (Cisneros et al., 2014; Yacoubi et al., 2012). La producción agrícola es la mayor consumidora de agua, por lo que se debe propender por un uso eficiente (Castro Popoca et al., 2008), considerando que el planeta Tierra tiene un área aproximada con cultivos de 1.527 millones de hectáreas, y el 19,7 % de ellas se encuentra bajo riego (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2011).

En Colombia hay 18 millones de hectáreas que tienen potencial para ser irrigadas, pero en la actualidad solo un millón está en riego, lo que equivale al 6 %. Para 2038, el Gobierno aspira a alcanzar una cobertura del 10 %, con 744.000 hectáreas adicionales irrigadas. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el sector privado ha desarrollado y manejado casi dos tercios de la superficie regable, principalmente a pequeña escala, mientras que el resto ha sido ejecutado por el sector público. En 2011, la superficie total cosechada de cultivos con infraestructura para riego ascendió a 524.000 ha, de las cuales 245.000 fueron de arroz (47 %) y 168.000 de caña de azúcar (32 %).

El riego es indispensable en la producción, por lo que debe realizarse con una alta eficiencia y uniformidad, que garantice su uso racional (Ouazaa et al., 2015). Los métodos de riego por gravedad son los más comunes para aplicar el agua en los terrenos agrícolas en las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas a nivel mundial, y Colombia no es la excepción (Benjamin et al., 1994; González-Camacho et al., 2006). Sin embargo, debido a las bajas eficiencias del riego por gravedad, es preciso investigar alternativas eficientes en el manejo del riego (Flores-Gallardo et al., 2014).

En estas condiciones, el uso eficiente del agua mejora el rendimiento económico por medio de la reducción del consumo del agua y la energía (Samian et al., 2015; Yacoubi et al., 2012), además de que mitiga impactos ambientales adversos (Louie & Selker, 2000). Entre otras herramientas que promueven el uso racional del agua, se tienen sistemas de



riego de mayor eficiencia, técnicas de agricultura de precisión (Levy et al., 2013), la tecnificación del riego, la operación de este de acuerdo con su diseño (De la Cruz Tun Dzul et al., 2011) y el uso racional del recurso, evitando aplicar cantidades que generen déficit o exceso de agua, lo que induciría a pérdidas y bajas eficiencias (Flórez-Tuta et al., 2013).

El departamento del Cesar cuenta con un régimen hídrico deficitario en dos épocas secas del año; por otra parte, el desarrollo pecuario está liderado por la ganadería en unos terrenos que permiten mecanizar la producción agropecuaria, y se cuenta con una fuente de agua subterránea de acuíferos recargables. En este capítulo se evalúo la tecnología del sistema de riego por pivote central para la producción de forrajes a escala comercial, como una alternativa orientada hacia el uso eficiente del recurso hídrico y del suelo; para tal fin, se plantearon los siguientes objetivos específicos:

1. Diseñar un sistema de riego por pivote central para una superficie de 30,5 ha.
2. Elaborar programas de riego en función de los cultivos, su desarrollo y la variación espacial de la humedad del suelo.
3. Implementar el sistema de control de aplicación de riego diferenciado en función del requerimiento hídrico de los cultivos.
4. Evaluar y comparar los rendimientos de los tres cultivos (maíz, sorgo y pasto) y las láminas de riego aplicadas.

Generalidades de los sistemas de riego por pivote central

El sistema de riego por aspersión por pivote central presenta unas características especiales en sus componentes y funcionalidad, que se describen a continuación.

El pivote central: dispositivo móvil de riego por aspersión

Las máquinas de riego por aspersión autopropulsadas han tenido gran éxito frente a otros sistemas de riego (Ouazaa et al., 2015) debido a que presentan ventajas como la alta uniformidad y eficiencia de aplicación, la automatización y la posibilidad de aplicar agua y fertilizantes, a través de los sistemas, en distintas condiciones topográficas (Evans & King, 2012). El sistema de riego por pivote central permite conducir el agua a través de una tubería metálica de acero galvanizado o aluminio, la cual es



montada sobre torres metálicas soportadas y movidas sobre unos neumáticos que son accionados por motores eléctricos; de esta manera, el pivote gira circularmente, sobre su eje, manteniendo uno de sus extremos fijo en el centro del campo. A lo largo de la tubería cuelgan los aspersores, distribuidos y puestos en marcha de acuerdo con los requerimientos hídricos del cultivo, el clima, la especie, la topografía y demás condiciones. El agua es aplicada en forma de “lluvia”, más o menos intensa, variable o uniforme, sobre la superficie del suelo, con el fin de que el agua se infiltre en los puntos donde cae.

La tecnología del sistema de riego por pivote central fue desarrollada en 1950, en Nebraska, Estados Unidos, y en 1968 ya se tenía un sistema reversible de transmisión eléctrica, que en la actualidad es conocido a nivel mundial. El riego por pivote central se caracteriza por ser automatizado, versátil y flexible, de desplazamiento continuo en su operación, y por aplicar agua en forma de lluvia controlada y uniforme sobre las tierras, con el propósito de que esta se infiltre en el sitio específico donde cae (FAO, 2001).

El uso de las máquinas automotrices como sistema de riego ha tenido buena acogida debido a que estas disminuyen el costo de inversión por hectárea irrigada, por sus menores requerimientos energéticos y de mano de obra, porque permiten la inyección de agroquímicos, por su fácil adaptación a la topografía, el clima y el cultivo, y por su alto nivel de automatización (Allen et al., 2000; Evans & King, 2012). Gracias a esa versatilidad, el pivote central no requiere de la adecuación de zanjas y movimientos de tierra, lo que ayuda a mantener en superficie el horizonte orgánico del suelo, sus propiedades físicas y las condiciones favorables para la mecanización (Tarjuelo et al., 1996).

Las primeras versiones de los pivotes contaban con motores hidráulicos, que más adelante se cambiaron por motores eléctricos, lo que brindó ventajas operacionales. La principal diferencia entre ambos sistemas está en el motor de accionamiento de los pivotes. El pivote eléctrico funciona con electricidad y se enciende cuando se requiere mover las torres; esto permite detener y accionar los motores cientos de veces durante su operación, de forma sincronizada entre las torres, para generar el movimiento, mientras que el pivote hidráulico funciona con la misma agua de riego. El sistema hidráulico está siempre alineado, ya que todas las ruedas se mueven de forma simultánea. Por su parte, el movimiento del pivote eléctrico garantiza una mayor vida útil de los engranajes, una mayor eficiencia y un menor costo operativo. Los sistemas



de accionamiento eléctrico (figura 2.1a) permiten variar la velocidad de avance desde 0 hasta el 100 %, mientras que los equipos hidráulicos (figura 2.1b) regulan el avance



a partir del 30 %, por lo que estos equipos presentan la limitación de solo aplicar láminas bajas.

Figura 2.1. Sistema de riego por pivote central. a. Eléctrico; b. Hidráulico.

Fotos: a. Claudia Maricel Ipaz Cuastumal; b. Sofiane Ouazaa

El adelanto tecnológico de los emisores desplazó el uso de los aspersores de impacto en los sistemas de riego automotores, pues los emisores requieren menor presión para su operación (DeBoer et al., 2000; Kincaid et al., 2000). Los más utilizados en máquinas automotrices son los emisores de plato fijo y de plato rotatorio (productos de Nelson Irrigation), y los emisores de tecnología I-Wobbler (productos de la fábrica Senninger). La tecnología I-Wobbler (figura 2.2) refiere a emisores de rotación con un deflector ranurado combinado con una acción oscilante, con lo que proporcionan una mejor uniformidad para la aplicación del agua. Los aspersores Wobbler distribuyen gotas con menor intensidad de aplicación, sobre una mayor área de cobertura, a bajas presiones.



Figura 2.2. Emisor I-Wobbler.

Foto: Guillermo Alberto Brochero Aldana

Indicadores de funcionamiento

El uso del pivote central como sistema de riego es de interés para los productores agrícolas por varias razones: su menor costo de inversión por hectárea regada, su versatilidad operativa, la automatización, la aplicación de láminas variables —según los requerimientos del cultivo—, el fertirriego, la quimigación, la alta uniformidad de aplicación del agua —de ser operado de acuerdo con su diseño—, su fácil ensamblaje en el terreno y operación, y su adaptación para suplir las necesidades hídricas del cultivo por cada fase fenológica (Montero et al., 2013). Para evaluar la operación se debe estimar el coeficiente de uniformidad (CU) y la uniformidad de distribución (UD) (Baum et al., 2005; Zhang & Merkley, 2012). El CU de Heermann y Hein es una adaptación del coeficiente de Christiansen en la que cada pluviómetro cubre una corona circular de área, que se incrementa en la medida en que se aleja del punto pivotante; este parámetro evalúa el desempeño de los emisores en operación a una presión de diseño: un valor del CU inferior del 80 % no es apropiado; entre el 80 % y el 84 %, es regular; entre el 85 % y el 90 %, es óptimo, y mayor del 90 %, es muy bueno.



La UD se define así:

$$UD = 100(Z_{lq}/Z_{avg})$$

Donde:

UD: uniformidad de distribución (%)

Z_{lq} : lámina promedio (mm) infiltrada en el cuarto menor del área regada, o la cuarta parte del área con menor irrigación

Z_{avg} : lámina promedio (mm) infiltrada en el suelo

En el riego por aspersión, las láminas infiltradas se reemplazan por la pluviometría promedio, y para el caso de riego localizado, se emplean los caudales de los emisores. El CU se define así:

$$CU = 100(1 - \sum X_i / n m) \text{ como } X_i = |Z_i - m|$$

Donde:

CU: coeficiente de uniformidad (%)

Z_i : láminas de agua o caudales promedio (mm)

n: número de puntos evaluados

m: media de las láminas Z_i (mm)

En los sistemas de riego por aspersión, un valor permisible mínimo de UD de agua es del 80 % (De la Cruz Tun Dzul et al., 2011); valores inferiores se pueden deber a un mal diseño del sistema de riego, lo cual limitaría su desempeño y apropiado funcionamiento (Buendía Espinoza et al., 2004).



Diseño, construcción, implementación y evaluación de un sistema de riego por pivote central para la producción de biomasa a gran escala (pastos y forrajes)

En este apartado se muestran las etapas de diseño, construcción, implementación y evaluación de la operación de un pivote central eléctrico para una superficie de 30,5 ha, para un riego de tasa variable (diferenciado), en cultivos de maíz, sorgo y pastos con seis sectores para la producción de biomasa a gran escala.

El sistema de riego diseñado debe garantizar las condiciones óptimas para el mejor aprovechamiento y consumo del agua de riego por parte de las plantas, lo cual es posible mediante su aplicación en cantidades necesarias, oportunas y homogéneas en el suelo, según los requerimientos hídricos del cultivo.

Diseño del sistema de riego por pivote central

El proceso consistió en realizar un diseño agronómico de acuerdo con los máximos requerimientos hídricos de los cultivos; seguidamente, se realizó el diseño hidráulico y se estableció la capacidad para la irrigación de 30,5 ha de cultivos forrajeros.

Para contar con un sistema de riego eficiente, se consideran cuidadosamente las relaciones agua-planta y agua-suelo. La implementación de los sistemas de riego se realiza en función de las láminas de aplicación de riego y del caudal disponible, y así se determinan las longitudes del pivote central.

Una de las alternativas para hacer frente a los problemas de sequía y déficit hídrico en los cultivos es la aplicación de riego, ya que este mantiene el cultivo estabilizado para mejorar su calidad y alcanzar mayores rendimientos, minimizando los efectos negativos ocasionados por el estrés hídrico. Por tanto, uno de los objetivos del presente proyecto de diseño de un sistema de riego por pivote central es aplicar la lámina de agua requerida por los cultivos de pasto, sorgo y maíz, para un área de 30,5 ha, en el C. I. Motilonia de AGROSAVIA, ubicado en el municipio de Agustín Codazzi, Cesar. Dicha lámina de agua requerida es conocida como el uso consuntivo y está dada en función de las condiciones climáticas, el tipo de cultivo y el sistema de riego por



aplicar. A continuación, se muestran los cálculos para la determinación del requerimiento hídrico del cultivo (uso consuntivo) en el C. I. Motilonia.

Evapotranspiración potencial: se estimó a partir de la información de la estación meteorológica del C. I. Motilonia, propiedad del Ideam (código 28025070), se encuentra ubicada en las coordenadas 10° 0' 6,5" N y 73° 14' 57,8" O. La estación está a 2.500 m de distancia del pivote central, por lo cual sus registros históricos, de hace aproximadamente cuarenta años, fueron representativos para la elaboración del proyecto.

Evapotranspiración de referencia (ET_o) por el método FAO Penman-Monteith: este método combina el balance energético con el método de transferencia de masas para calcular la evaporación de una superficie abierta de agua a partir de datos climáticos como las horas de sol, la temperatura, la humedad atmosférica y la velocidad del viento (FAO, 2006).

Para poder usar la ecuación, se utilizó la estación meteorológica del C. I. Motilonia, perteneciente al Ideam, de la cual se tomaron los datos de temperatura (máxima y mínima), humedad relativa (máxima y mínima), velocidad del viento y brillo solar.

El método FAO Penman-Monteith para estimar la ET_o es el siguiente:

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34 u_2)}$$

Donde:

ET_o: evapotranspiración de referencia (mm/día)

R_n: radiación neta en la superficie del cultivo (MJ/m²/día)

G: flujo del calor de suelo (MJ/m²/día)

T: temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)

u₂: velocidad del viento a 2 m de altura (m/s)

e_s: presión de vapor de saturación (kPa)

e_a: presión real de vapor (kPa)

e_s - e_a: déficit de presión de vapor (kPa)

Δ: pendiente de la curva de presión de vapor (kPa/°C)

γ: constante psicrométrica (kPa/°C)



La ecuación utiliza los datos climáticos mencionados. Para asegurar la precisión del cálculo, los datos climáticos deben ser medidos o convertidos a 2 m de altura, sobre una superficie extensa de pasto verde, cubriendo completamente el suelo y sin limitaciones de agua. Los resultados de la ETo de la zona de estudio se muestran en la figura 2.3. Para el cálculo del requerimiento hídrico de los cultivos priorizados, se tomará la ETo más crítica del año, correspondiente al mes de febrero: 6,547 mm/día.

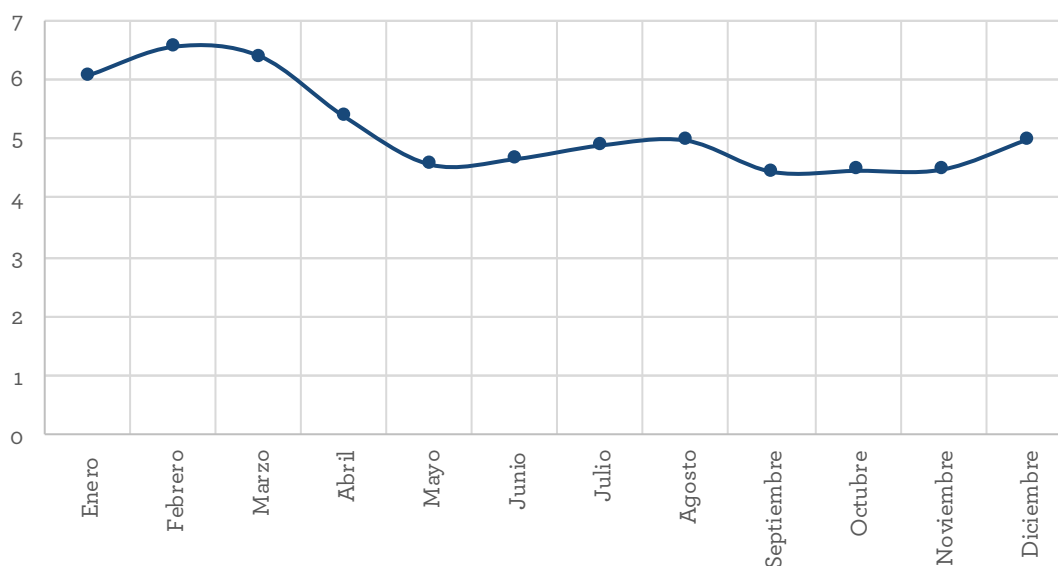


Figura 2.3. ETo (mm/día) del área de investigación.

Fuente: Elaboración propia

Requerimiento hídrico del cultivo

El cálculo de la evapotranspiración del cultivo (ETc) exige el conocimiento de varios parámetros climáticos y propios de la superficie de evaporación para poder estimar las resistencias aerodinámicas y de superficie. Sin embargo, estos parámetros de la cubierta varían de un cultivo a otro y, para un mismo cultivo, dependen de su crecimiento y de su estado o etapa en el ciclo agronómico, aspectos que, a su vez, están condicionados por las prácticas culturales.

La evapotranspiración de un cultivo en condiciones estándar (mm/día) corresponde a la cubierta vegetal de un cultivo sano, sin estrés hídrico, en una superficie grande, donde se obtienen máximos rendimientos bajo unas condiciones climáticas específicas. La



ETc, denominada como evapotranspiración máxima (ETm; mm/día) de un cultivo, se estima como el producto de la Eto (mm/día) por el coeficiente de cultivo (K_c , adimensional) (Doorenbos & Pruitt, 1975):

$$ETc = K_c \times ETo$$

El K_c tiene en cuenta los efectos de cuatro parámetros que lo diferencian del cultivo de referencia:

- La altura de cultivo (h), la cual está relacionada con la rugosidad y la resistencia aerodinámica.
- El albedo de la cubierta está en función de la fracción de la cobertura vegetal; este parámetro se relaciona con la radiación solar absorbida y representa la radiación neta absorbida por la cubierta.
- El área foliar, la densidad estomática, su edad y su estado, así como el nivel de control estomático, ya que promueven la resistencia al flujo de vapor de agua de la cobertura vegetal; es así como se afecta la resistencia de la superficie.
- La superficie de suelo desnudo, que está en función de la fracción de cobertura vegetal y que incide en la evaporación desde el suelo.

El valor de K_c cambia según el ciclo fenológico a medida que la cubierta vegetal incrementa y el cultivo se desarrolla; de igual forma, cambia la cobertura del área vegetativa del suelo hasta alcanzar la senescencia de la planta. Por lo anterior, se ha optado por calcular la variación de los valores de K_c durante el ciclo del cultivo a través del cambio del índice de área foliar (IAF) efectivo, dado que la transpiración de un cultivo cambia, según su ciclo de crecimiento y desarrollo, de forma paralela a su IAF. Sin embargo, un aspecto relevante de la variación del K_c respecto al cultivo es el efecto adicional del suelo desnudo, principalmente cuando el porcentaje del suelo es mayor, situación que se da en las primeras etapas fenológicas de los cultivos.

Según la FAO, el K_c combina las características de un cultivo específico y los efectos promedio de la evaporación del suelo, así como de su etapa fenológica, para lo cual, para efectos de diseño, debe tomarse el K_c más crítico, que normalmente es el K_c medio, correspondiente a la etapa en que el cultivo presenta un mayor follaje y, por lo tanto, una mayor transpiración de la planta. Los valores de K_c (tabla 2.1) se estiman a partir de estudios que utilizan lisímetros de pesada instalados en áreas representativas de cultivos con prácticas culturales apropiadas y uniformes.



Tabla 2.1. K_c medios para diversos cultivos

Cultivo	K_c inicial	K_c medio	K_c final
Pastos de pastoreo/pastos de rotación	0,3	0,8-1,0	0,8
Pastos de pastoreo extensivo	0,3	0,7	0,7
Maíz para grano	0,15	1,15	0,15
Maíz dulce		1,1	1
Sorgo para grano		0,95-1,05	0,35
Sorgo dulce		1,15	1

Fuente: Elaboración propia con base en FAO (2006)

Para el dimensionamiento del sistema de riego por pivote central para los cultivos de maíz, sorgo y pastos, se consideró un K_c crítico de 1,15, correspondiente al cultivo de sorgo (tabla 2.1), por ser el más alto entre los tres cultivos, con el fin de satisfacer el requerimiento hídrico más alto en periodos de picos de evapotranspiración.

Capacidad del sistema por pivote central

La capacidad del sistema es el criterio de diseño más importante para los pivotes. Muchos sistemas son diseñados para minimizar los costos y no son capaces de satisfacer los picos de requerimientos de agua del cultivo, razón principal por la cual se adopta la tecnología. La capacidad del sistema de un pivote central es la velocidad a la que se puede suministrar el agua a la superficie regada, normalmente expresada en mm/día (típicamente está entre 8 y 20 mm/día).

Para determinar la capacidad adecuada del sistema, se debe considerar lo siguiente:

- Eficiencia de la aplicación (EA; %): es la proporción de agua aplicada que el cultivo puede utilizar; para el pivote central, se encuentra cerca del 90 %.
- Tiempo de riego (horas): es el coeficiente de funcionamiento del bombeo (CFB). Es la proporción de tiempo que la máquina tiene que operar para abastecer los picos de las necesidades de agua de los cultivos. Un funcionamiento continuo durante muchos días no es recomendable, pues se podrían presentar algunas averías o cortes de energía. El máximo recomendado de CFB es de 0,85, lo que equivale a un funcionamiento de 6 días por semana o 20 horas por día. En general, cuando el uso de agua por parte del cultivo es menor que el requisito de pico, se necesitan tiempos de operación más cortos.



- Pico de evapotranspiración (mm/día): es la tasa más alta de consumo de agua de los cultivos; en este caso, es igual a 8,72 mm/día.
- Velocidad de infiltración en el suelo (mm/h): es la velocidad con la cual el agua penetra en el suelo. Generalmente, se mide con base en la profundidad (en mm) que la lámina de agua logra penetrar en el suelo en una hora. Es necesario instalar emisores con tasas de aplicación que no superen los 30 mm/h, considerando que predominan suelos de textura franco-arenosa y teniendo en cuenta las preparaciones previas que se le realiza al suelo para el establecimiento de los cultivos (velocidad de infiltración en el suelo del C. I. Motilonia).

Para la determinación del requerimiento de agua del cultivo bajo el sistema de pivote central, se consideraron la eficiencia del sistema de riego y el porcentaje de humedecimiento, de la siguiente manera:

$$RAC = \frac{ET_o \times K_c \times \%A}{n}$$

$$RAC = \frac{6,54 \text{ mm/día} * 1,2 * 1}{0,9} = 8,72 \text{ mm/día}$$

Donde:

RAC: requerimiento de agua del cultivo

ET_o: evapotranspiración potencial

K_c: coeficiente del cultivo

n: eficiencia de riego (90 % en el caso del pivote central)

%A: factor de humedecimiento (100 % en el caso del sistema de riego por pivote central)

Entonces, el volumen de agua de riego requerido por el pivote central para regar un área de 30,5 hectáreas para los cultivos de sorgo, maíz y pasto es el siguiente:

$$\text{Volumen por hectarea por día} = 87,2 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen total} = 2.663,96 \text{ m}^3/\text{día}$$



De acuerdo con los caudales máximos permitidos de los pozos por parte de la Corporación Autónoma Regional del Cesar (Corpocesar), se consideró un tiempo máximo de jornada de 21,24 horas/día para el funcionamiento del pivote, con lo que se cumplía la capacidad máxima del pozo y se contaba con la posibilidad de incrementar la lámina hasta un 15 %, llegando a 10 mm/día; asimismo, las 2,6 horas de receso permitían realizar un mantenimiento al equipo sin afectar el normal funcionamiento del riego por pivote, con un caudal del sistema (CS) de 34,53 L/s.

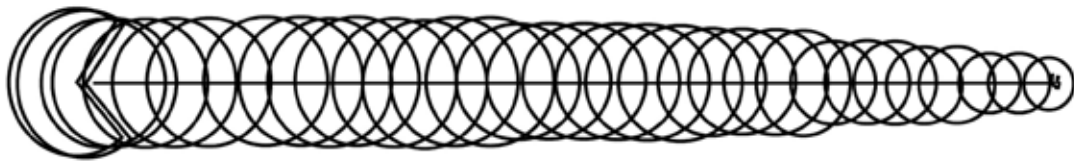
$$CS = \frac{2.663,96 \text{ m}^3/\text{día}}{21,42 \text{ h}} = 124,32 \text{ m}^3/\text{h} = 34,53 \text{ L/s}$$

Selección de emisores y uniformidad de riego

A los sistemas de riego por pivote se les adaptan aspersores rotativos o aspersores difusores. Dado que el movimiento del lateral pivotante describe una circunferencia, los aspersores próximos al punto pivotante riegan un área circular de menor superficie que aquellos ubicados cerca al extremo. Para alcanzar una distribución uniforme en el riego, la pluviometría debe incrementarse a medida que se avanza hacia el extremo exterior. Para tal fin, se puede disminuir el espaciamiento entre los aspersores (figura 2.4a) o incrementar el tamaño de las boquillas (figura 2.4b) (o las dos opciones al tiempo). El espaciamiento variable emplea el mismo tipo de aspersores en gran parte del lateral, por lo que se tiene la ventaja de que su mantenimiento es más fácil. El espaciamiento constante, por su parte, implica aumentar el tamaño de los aspersores y de las boquillas a medida que se alejan del punto pivotante; esta variante se utiliza con difusores (Santos et al., 2010). Es opcional el colocar un cañón o aspersor de largo alcance de riego al final de la tubería, el cual permite ampliar el área irrigada.



a.



b.

Figura 2.4. Distribución del agua con cañón externo. a. Aspersores con espaciamiento variable; b. Aspersores con espaciamiento uniforme.

Fuente: Elaboración propia

La pluviometría del sistema de riego y el caudal de descarga incrementan a medida que los aspersores o difusores se alejan del punto pivotante, al tener que regar una superficie circular de mayor área en el mismo tiempo por revolución. Inicialmente, se plantea la ecuación de área de una circunferencia; esta área es la sección a la cual se le calcula la cantidad de agua por aplicar (lámina de riego).

$$A = \pi r^2$$

Donde:

A: área

r: radio

El área de influencia (corona circular) de cada aspersor del pivote central se determina de la siguiente manera:

$$A_i = \pi(R^2 - r^2)$$

$$R = Pos + D/2$$

$$r = Pos - D/2$$



Donde:

Ai: área de influencia del aspersor (m^2)

R: radio externo de la corona circular (m)

r: radio interno de la corona circular (m)

Pos: posición del aspersor desde la torre central

D: distancia entre aspersores

Asimismo, se determina el caudal correspondiente al área de influencia de cada aspersor, teniendo en cuenta el área y el caudal total del pivote central, de la siguiente manera:

$$q = \frac{QT}{AT} Ai$$

Donde:

q: caudal

QT: caudal total (m^3/h)

AT: área total (m^2)

Ai: área de influencia del aspersor (m^2)

La selección de los aspersores se realiza de acuerdo con la tabla de boquillas de riego (tabla 2.2), la cual es un elemento esencial para el riego por pivotes. Para este diseño, se trabajó con los aspersores tipo I-Wob UP3 de Senninger, con una presión de trabajo equivalente a 10 psi.

Una vez calculado el caudal para cada aspersor, se selecciona la boquilla que mejor se ajuste al caudal estimado para la presión de operación del aspersor. Luego, se suman los caudales de los emisores y se confrontan con el caudal total disponible. De ser necesario, se corrige el cálculo y se ajusta.



Tabla 2.2. Características de las boquillas de riego

Color y número de la boquilla		Tamaño de la boquilla	10 psi (0,69 bar)		15 psi (1,03 bar)	
			gpm	(L/h)	gpm	(L/h)
	# 2 rosado	1/32" (0,031) 0,79 mm	0,09	20	0,11	25
	# 2,5	5/128" (0,039) 0,99 mm	0,14	32	0,17	39
	# 3 hielo	3/64" (0,047) 1,19 mm	0,20	45	0,24	55
	# 3,5	7/128" (0,055) 1,40 mm	0,27	61	0,33	75
	# 4 azul claro	1/16" (0,063) 1,59 mm	0,35	79	0,43	98
	# 4,5	9/128" (0,070) 1,78 mm	0,45	102	0,55	125
	# 5 beige	5/64" (0,078) 1,98 mm	0,55	125	0,68	154
	# 5,5	11/128" (0,085) 2,16 mm	0,67	152	0,82	186
	# 6 dorado	3/32" (0,094) 2,38 mm	0,80	182	0,98	223
	# 6,5	13/128" (0,102) 2,59 mm	0,94	213	1,15	261
	# 7 lima	7/64" (0,109) 2,78 mm	1,09	248	1,34	304
	# 7,5	15/128" (0,117) 2,97 mm	1,26	286	1,54	350
	# 8 lavanda	1/8" (0,125) 3,18 mm	1,43	325	1,75	397
	# 8,5	17/128" (0,133) 3,38 mm	1,62	368	1,98	450
	# 9 gris	9/64" (0,141) 3,57 mm	1,81	411	2,22	504
	# 9,5	19/128" (0,148) 3,76 mm	2,02	459	2,48	563
	# 10 turquesa	5/32" (0,156) 3,97 mm	2,24	509	2,75	625
	# 10,5	21/128" (0,164) 4,17 mm	2,47	561	3,03	688
	# 11 amarillo	11/64" (0,172) 4,37 mm	2,72	618	3,33	756
	# 11,5	23/128" (0,180) 4,57 mm	2,97	675	3,64	827
	# 12 rojo	3/16" (0,188) 4,76 mm	3,24	736	3,97	902
	# 12,5	25/128" (0,195) 4,95 mm	3,52	799	4,31	979
	# 13 blanco	13/64" (0,203) 5,16 mm	3,81	865	4,66	1.058
	# 13,5	27/128" (0,211) 5,36 mm	4,11	933	5,03	1.142
	# 14 azul	7/32" (0,219) 5,56 mm	4,42	1.004	5,41	1.229
	# 14,5	29/128" (0,227) 5,77 mm	4,74	1.077	5,81	1.320
	# 15 marrón oscuro	15/64" (0,231) 5,95 mm	5,08	1.154	6,22	1.413
	# 15,5	31/128" (0,242) 6,15 mm	5,42	1.231	6,64	1.508
	# 16 naranja	1/4" (0,250) 6,35 mm	5,78	1.313	7,08	1.608
	# 16,5	33/128" (0,258) 6,55 mm	6,15	1.397	7,53	1.710
	# 17 verde oscuro	17/64" (0,266) 6,75 mm	6,53	1.483	7,99	1.815
	# 17,5	35/128" (0,273) 6,93 mm	6,92	1.572	8,47	1.924
	# 18 púrpura	9/32" (0,281) 7,14 mm	7,32	1.663	8,96	2.035
	# 18,5	37/128" (0,289) 7,34 mm	7,73	1.756	9,47	2.151

Fuente: Senninger (s.f.)



Tasa de aplicación

La pluviometría de los aspersores en operación se llama “tasa de aplicación”, se mide en mm/h y es una característica del aspersor y del espaciamiento entre estos. En un pivote central, aumenta con las mayores demandas de caudal requeridas en el extremo del pivote. Un análisis de diferentes opciones de aspersores arrojó que un mayor alcance proporciona una pluviometría más baja. La tasa de aplicación del área de influencia de cada aspersor debe ser igual a la tasa de aplicación del área total:

$$Ta = \frac{Q}{AT} = \frac{124,3}{30.690} * 1.000 = 4,05 \text{ mm/h}$$

Donde:

Ta: tasa de aplicación (mm/h)

Q: caudal total (m³/h)

AT: área total (m²)

De acuerdo con los requerimientos hídricos determinados anteriormente, se consideran las siguientes especificaciones y capacidad del sistema de pivote central (tabla 2.3).

Tabla 2.3. Especificaciones y capacidad del sistema de pivote central

Operación	
Descripción	Valor
Lámina diaria bruta (mm)	8,72
Tiempo de operación (h)	21,42
Velocidad de operación (m/h)	311
Lámina al 100 % de la velocidad	2,33 mm en 5,5 h
Salida del pivote (m ³ /h)	124,32
Radio total regado (m)	312,56
Área regada (ha)	30,69
Número de tramos	6
Número de voladizos	1

Fuente: Elaboración propia



Diseño general del pivote central

El pivote central tiene 6 tramos de 48 m cada uno, y un voladizo de 24 m, sin cañón, en los cuales hay 116 aspersores para suministrar la lámina de riego requerida (figura 2.5).

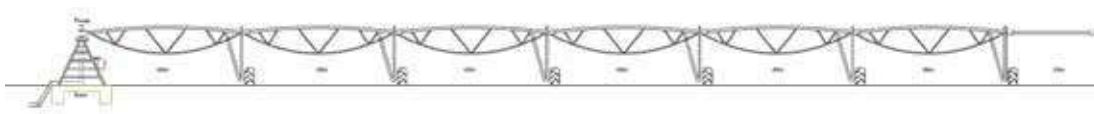


Figura 2.5. Diseño del pivote central.

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 2.4 se muestran las dimensiones del pivote central en cuanto a longitud de las torres (tramos), áreas regadas y número de aspersores. Los aspersores están separados entre sí a 4,56 m en el primer tramo; en el tramo intermedio, su separación se reduce, gradualmente, a 2,28 m, y, finalmente, en el voladizo, la separación es de 2 m entre aspersores. Esta separación se debe a que el área de cubrimiento no es la misma en todos los casos, y la reducción gradual de la separación hace que la uniformidad sea del 95 %.

Tabla 2.4. Descripción general del sistema de pivote central

Tramo	1	2	3	4	5	6	Voladizo	Cañón
Longitud (m)	48,75	47,96	47,96	47,96	47,96	47,96	24	0
Distancia desde el punto central (m)	48,75	96,71	144,67	192,63	240,59	288,55	312,55	312,55
Área regada (ha)	0,75	2,94	6,58	11,66	18,18	26,16	30,69	30,69
Área regada (%)	2	10	21	38	59	85	100	100
Aspersor	I-Wob	I-Wob	I-Wob	I-Wob	I-Wob	I-Wob	I-Wob	—
Regulador	10 psi	10 psi	10 psi	10 psi	10 psi	10 psi	10 psi	—
Salidas	10	10	21	21	21	21	12	—

Fuente: Elaboración propia

Características del tipo de aspersor seleccionado

La característica más importante del pivote central es su capacidad de aplicar el agua de manera uniforme (superior al 90 %); dicho procedimiento es posible a partir de los



emisores instalados a lo largo de la tubería principal del pivote. Para el sistema de riego del estudio se estableció un total de 116 aspersores I-Wob, de Senninger, diseñados específicamente para pivotes (figura 2.6).



Figura 2.6. Diseño del aspersor I-Wob.

Foto: Guillermo Alberto Brochero Aldana

Automatización y control

En los últimos años, el sistema de riego por pivote central ha presentado avances significativos en cuanto a una mayor eficiencia en la aplicación del riego, así como la posibilidad de monitorear remotamente las máquinas desde dispositivos móviles; esto incluye el monitoreo de la humedad del suelo con sensores *in situ*, con el propósito de definir las láminas de aplicación de riego con tasas variables de agua a largo del pivote, incursionando en la agricultura de precisión. Mediante las tecnologías de sistemas de posicionamiento global (GPS) y sistemas de información geográfica (SIG), se calculan las láminas de riego para aplicar de forma sectorizada, y los datos son enviados a un panel de control central de fácil uso, que permite hacer el monitoreo.



El sistema instalado en el C. I. Motilonia cuenta con las siguientes características:

- Control de aplicación de porcentaje
- Control de aplicación en mm
- *Autostop*/autorreverso
- Inicio e interrupción en agua y en seco
- Aplicación de tasa variable
- Automatización con un sistema que le permite al usuario tener el control remoto completo de su equipo, desde su computadora o dispositivo móvil conectado a internet
- Riego sectorizado (6 sectores; figura 2.7)
- Programación en horario simple
- Programación paso a paso según la fecha y la hora
- Reinicio automático al restablecer la energía
- Control de dirección
- Lectura de presión
- Cálculo de las horas por revolución

Balance hídrico y programación de riego

La metodología presentada por Evett et al. (2012) fue implementada en este trabajo para la estimación del balance hídrico. La ETc fue calculada directamente con el balance de masa, utilizando la ecuación de balance agua-suelo:

$$ETc = I + P - F - R \pm \Delta S$$

Donde:

I: irrigación

P: precipitación

F: flujo hacia (tomado como positivo) o fuera (tomado como negativo) del volumen de control, considerado aquí como el volumen de drenaje

R: suma de escurrimiento

ΔS : cambio en el agua del suelo almacenada en el volumen de control de 1 m³

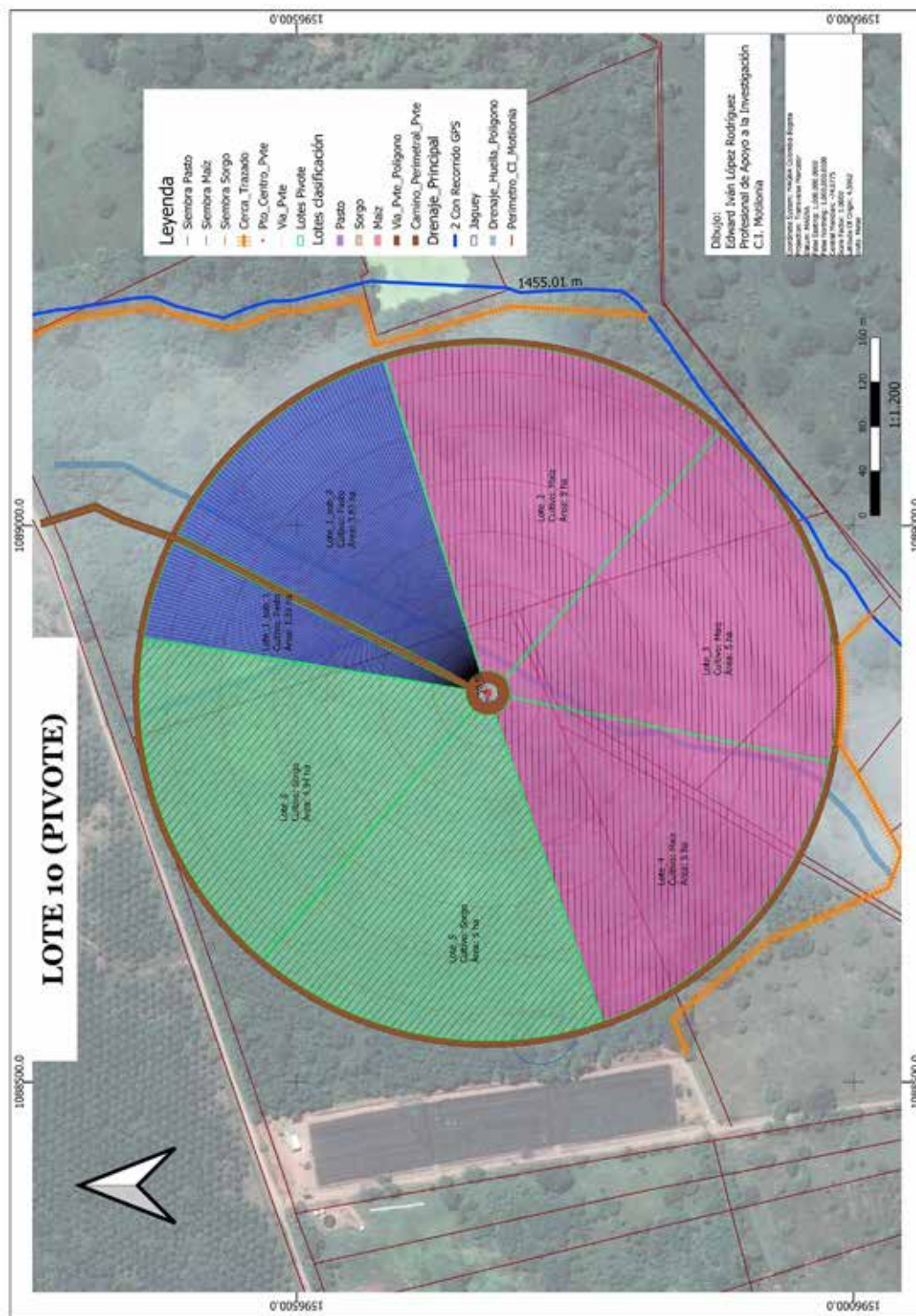


Figura 2.7. Tasa de riego variable (riego sectorizado) en el pivote.

Fuente: Elaboración propia



Se utilizó el *software* Cropwat para planificar los horarios de riego y las láminas brutas para aplicar en los tres cultivos. El modelo estima los requerimientos hídricos del cultivo (RAC) y la distribución óptima del agua, lo que da como resultado el mayor rendimiento posible en condiciones de agua limitada, para un clima, cultivo y campo determinados. Cropwat muestra las consecuencias en el programa de riego, en términos de eficiencia de aplicación del agua y respuesta de rendimiento esperada. Cropwat es una herramienta fiable para comprender los RAC y la planificación del riego, así como para gestionar su programación (Luo et al., 2015). Los principales valores de entrada necesarios para Cropwat son los datos de los cultivos (fecha de siembra del cultivo, valores de K_c en las diferentes etapas de crecimiento y duración de las etapas de crecimiento), los datos del suelo (contenido de agua total disponible, máxima profundidad radicular, tasa máxima de infiltración de lluvia, agotamiento de la humedad en suelo y humedad inicial del suelo disponible) y los datos climáticos (temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y horas de sol). Este programa de computación es muy útil, ya que puede ser empleado para realizar programaciones de riego en diferentes cultivos, con base fundamentalmente en los RAC, según su etapa fisiológica, a partir de los datos climáticos históricos de la zona y de los datos del suelo.

A continuación, se muestran los diferentes eventos de riego, su duración, las láminas y el volumen de agua aplicados y el rendimiento para cada cultivo (tabla 2.5).

Tabla 2.5. Láminas de agua aprovechadas por los cultivos y rendimientos

Sector	Ciclo (corte)	Inicio de riego	Fin de riego	Duración (días)	Precipitación estimada en Cropwat (mm)	Precipitación real (mm)	Lámina bruta estimada en Cropwat (mm)	Lámina bruta aplicada (mm)	Tiempo de riego (h/ha)	Volumen de agua de riego aplicado (m ³ /ha)	Producción de heno (pasto) o de forraje verde (sorgo o maíz) (t/ha)
Cultivo de pasto											
S1	C1	13/01/2021	12/04/2021	89	160,0	105	422,2	401,90	31,3	4.019	3,5
S1	C2	13/04/2021	16/06/2021	64	338,2	439	67,4	16,31	1,2	163,1	3,7
S1	C3	17/06/2021	9/08/2021	53	137,1	288	162,5	68,42	5,2	681,2	3,3
S1	C4	10/08/2021	10/12/2021	122	280,8	909	214,3	8	0,6	80	4,1
Cultivo de sorgo											
S2	C1	27/01/2021	19/05/2021	112	325,0	284	502,4	269,10	20,6	2.691	12,1
S3	C1	18/01/2021	6/05/2021	108	261,4	181	513,8	344,90	26,5	3.449	31,6
S5	C1	1/08/2022	3/11/2022	94	626,8	842	285,9	49,98	3,8	499,8	33,5
S6	C1	4/08/2022	16/11/2022	104	618,9	954	286,8	33,98	2,5	339,8	24,3
Cultivo de maíz											
S2	C1	8/07/2021	20/09/2021	74	340,0	732	267,3	123,46	9,5	1.234,6	30
S2	C2	24/11/2021	7/02/2022	75	113,4	92	300,8	265,73	21,3	2.656,6	36
S2	C3	13/06/2022	4/09/2022	83	315,8	317	518,8	69,64	5,1	696,36	28
S3	C1	30/06/2021	12/10/2021	104	316,8	734	270,0	124,73	9,7	1.249,3	24,4
S3	C2	12/10/2021	25/12/2021	74	420,2	315	242,3	133,33	10,5	1.330,6	24,5
S3	C3	16/06/2022	4/09/2022	80	321,6	617	270,8	70,28	5,2	703,1	22,4
S4	C1	6/07/2022	4/10/2022	90	358,8	575	264,2	65,25	5,0	653,1	27,7

Fuente: Elaboración propia





Evaluación de la producción y las láminas de riego aplicadas

Para cada ciclo productivo de los forrajes se estimaron el agua total aplicada y la producción de biomasa en distintas épocas y en diferentes sectores dentro del área irrigada, excepto en el caso del pasto, que se mantuvo establecido en el mismo sector; lo anterior, con el fin de determinar la productividad hídrica.

Productividad hídrica (WP)

La productividad es un indicador fundamental en el manejo y uso eficiente del recurso hídrico y su planificación a largo plazo (Zwart & Bastiaanssen, 2004); además, se puede generar ahorro en algunos sistemas que presentan consumos de agua excesivos. La productividad se puede estimar como kilos producidos por gota, concepto que permite comparar la productividad del agua en distintos escenarios y otros usos posibles del recurso hídrico (FAO, 2003).

La productividad del agua (WP) se define como la cosecha física o económica por unidad de agua consumida por el cultivo (en kg/m³ u otro peso/m³). El numerador puede ser expresado en términos de rendimiento de grano (kg/ha) o en términos económicos (peso/ha), mientras que en el denominador pueden usarse la transpiración, la evapotranspiración, el agua aplicada o el agua aplicada más la lluvia, entre otros, según Molden (1997). En este trabajo, usaremos la siguiente definición de WP:

$$WP \text{ (kg/m}^3\text{)} = \frac{R}{I + P_{ef}}$$

Donde:

R: rendimiento (kg/ha)

I: agua aplicada por riego

P_{ef}: precipitación efectiva

La WP muestra considerables variaciones entre cultivos. Esta variabilidad ocurre porque los datos son recolectados en diferentes ambientes y en distintos tipos de manejo del cultivo, todo lo cual afecta no solo el rendimiento, sino también la cantidad de agua aplicada (Kijne et al., 2003).



La WP de los cultivos en los diferentes sectores es afectada por la calidad del suelo presente en cada sector. Es importante tener en cuenta que el área total del pivote (30,5 ha) presenta una variabilidad espacial en el pH del suelo (figura 1.2, capítulo I). En las figuras 2.8, 2.10 y 2.11, los S1 (color verde claro) y S6 (color morado) corresponden a sectores con predominio de la reacción alcalina, los S2 y S4 (color azul rey) corresponden a suelos en los que predomina un pH moderadamente alcalino y los S3 y S5 (color azul claro) representan un sector que es de neutro a moderadamente ácido. Se observó que para pH >7,8, la WP fluctúa entre 0,5 y 0,8, mientras que para pH <7,8 la WP supera el valor de 2,8 en un ciclo de 32 días; luego los valores obtenidos son consistentes, pues más del 90 % del área presenta un pH >7,8.

Para el cultivo de pasto Agrosavia Sabanera sembrado en el sector 1 (tabla 2.5), se realizaron cuatro cortes sucesivos, a los 89, 153, 206 y 328 días (C1, C2, C3 y C4, respectivamente). Se observa que la WP de los cuatro cortes (figura 2.8) varía entre 0,5 y 0,9 kg/m³, con una mayor productividad en el corte C3 y la más baja en el corte C4. El primer corte corresponde al establecimiento del pasto, mientras que los cortes C2 y C3, con duraciones más cortas, mostraron una mayor WP. Cabe resaltar que, debido a los eventos lluviosos, no fue posible cortar el pasto en la etapa de mayor crecimiento y calidad del forraje, lo cual sucede entre los 28 y 49 días. En el caso del corte C4, los aportes de la precipitación y el riego fueron de 909 mm en 122 días, lo cual afectó de manera negativa la WP, debido a una disminución de la materia seca a partir de los 35 días. Se observa que la WP del pasto está inversamente relacionada con el número de días por ciclo (figura 2.8), por lo cual se recomienda realizar cortes en una edad joven, inferior a los 50 días.

Para el cultivo de sorgo dulce forrajero Corpoica JJT-18 (*Sorghum bicolor* L.), sembrado en los sectores S2, S3, S5 y S6 (tabla 2.5), se observó que las mayores WP se encuentran en los sectores S3-C1 y S5-C1 (suelos con pH de neutro a moderadamente ácido), con valores de 6 kg/m³ y 3,8 kg/m³, respectivamente (figura 2.10). Se observa que la WP del sorgo en el S2-C1 es relativamente baja (2,2 kg/m³) por haber sido cultivado en un suelo de menor calidad. Cabe resaltar que el cultivo presentó, durante su fase de crecimiento, una buena cobertura y un buen desarrollo; sin embargo, el rendimiento fue afectado en el S2 por eventos lluviosos con fuertes vientos, por lo cual el material se volcó y fue poco lo que se logró cosechar. Para S6-C1, la producción de biomasa fue marginal, con 24,3 t/ha, y la WP fue de 2,5 kg/m³. Este resultado se explica por la baja calidad del suelo, con un pH alcalino y un porcentaje de sodio intercambiable que tiende a aumentar, con lo que afecta el desarrollo de las plantas.

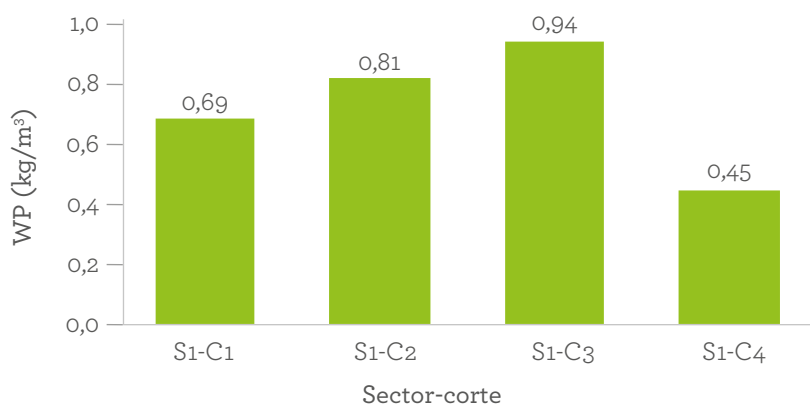


Figura 2.8. WP en los cuatro cortes del sector 1 (S1) para el cultivo de pasto Agrosavia Sabanera bajo el sistema de riego por pivote central.

Fuente: Elaboración propia

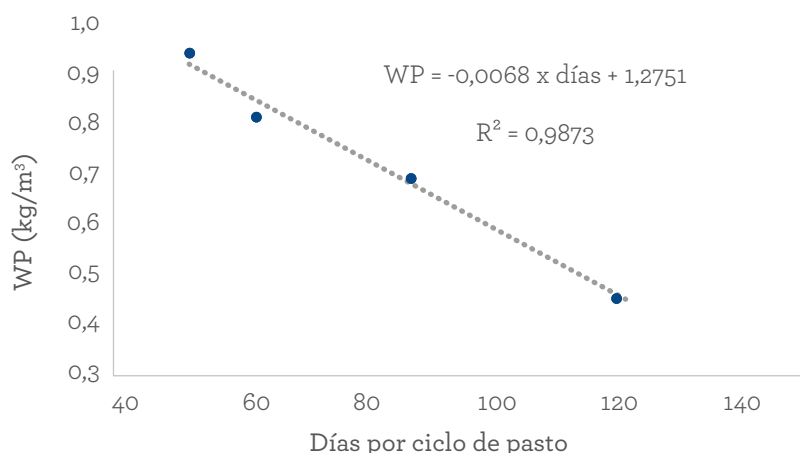


Figura 2.9. Correlación entre la WP y los días por ciclo de pasto.

Fuente: Elaboración propia

En cuanto al cultivo de maíz, con el híbrido Pioneer 30F35 sembrado en los sectores S2, S3 y S4 (tabla 2.5), el S2-C2 presentó la mayor producción de biomasa y la mayor WP, con valores de 36 t/ha y 10,1 kg/m³, respectivamente (figura 2.11). Cabe mencionar que gran parte del agua requerida por el cultivo durante este corte fue suministrada mediante el riego debido a las pocas precipitaciones, por lo cual el cultivo no se sometió a condiciones de anegamiento por altas intensidades de lluvia, lo cual fue favorable en el establecimiento del cultivo y en la cosecha, teniendo en cuenta



que la calidad del suelo es marginal en este sector y el comportamiento del material sobresalió durante la época seca. En este mismo sector, durante el C1, se presentaron épocas lluviosas (un total de 732 mm en 74 días), las cuales afectaron de forma desfavorable en el momento de establecimiento del cultivo, teniendo en cuenta que el suelo con presencia de sodio tiende a estar anegado por más tiempo, condiciones poco favorables para el maíz. Con respecto al S2-C3, el aporte de riego fue deficitario por fallas en el sistema de riego, lo que explica la diferencia en la WP con respecto al C2. Pedroza Sandoval et al. (2014) reportan una WP en maíz de 5,7 kg/m³, valor cercano al promedio encontrado en condiciones del Caribe colombiano en suelos de variable calidad. En el S3 se observó el mismo comportamiento en cuanto a la WP, con un pico en el C2, con valores menores al S2. Con respecto al S4-C1, la producción de forraje verde fue de 27 t/ha y la WP fue de 4,3 kg/m³, valores normales teniendo en cuenta que gran parte de este suelo es de reacción alcalina, con moderadas limitaciones para el desarrollo de los cultivos.

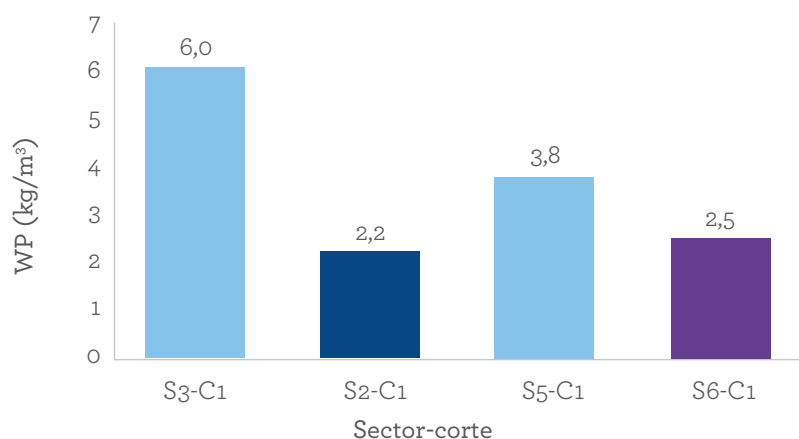


Figura 2.10. WP por sector (S) y por corte (C) para el cultivo de sorgo dulce forrajero Corpoica JJT-18 bajo el sistema de riego por pivote central.

Fuente: Elaboración propia

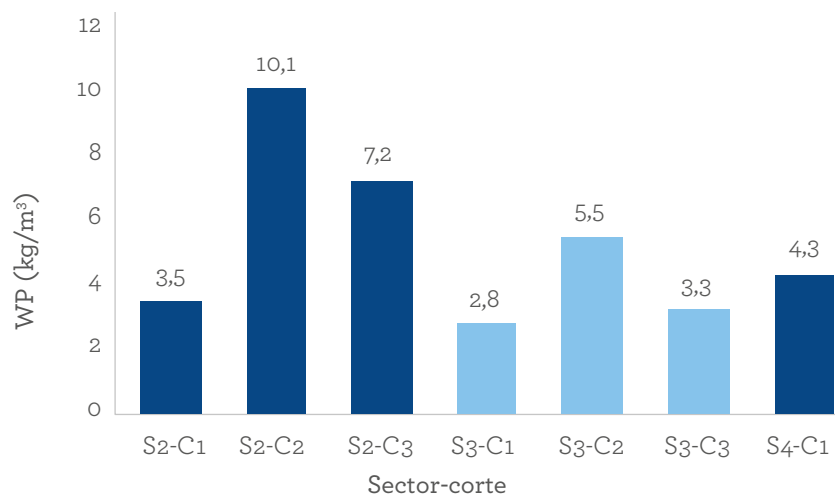


Figura 2.11. WP por sector (S) y por corte (C) para el cultivo de maíz Pioneer 30F35 bajo el sistema de riego por pivote central.

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

En este capítulo se diseñó, implementó y evaluó la operación de un pivote central eléctrico de una superficie de 30,5 ha, para un riego de tasa variable (diferenciado), para cultivos de maíz, sorgo y pastos, con seis sectores, para la producción de biomasa a gran escala. La WP de los tres cultivos bajo el sistema de riego por pivote central representa un elemento clave en la planeación estratégica de los recursos hídricos a largo plazo. El manejo del agua basado en parámetros de productividad puede mejorar su uso y contribuir a su ahorro en aquellos sistemas que consumen cantidades excesivas de agua. Se recomienda realizar un adecuado dimensionamiento del sistema y determinar la mejor programación de riego para cada cultivo, con el fin de garantizar las condiciones óptimas para el mejor aprovechamiento y consumo del agua de riego por parte de la planta, lo cual fue posible mediante la aplicación de cantidades necesarias, oportunas y homogéneas en el suelo, con base en los requerimientos hídricos del cultivo.



Referencias

- Allen, R. G. (1998). *CATCH3D: Sprinkler overlap program*. Utah State University.
- Allen, R. G., Keller, J., & Martin, D. (2000). *Center pivot system design*. The Irrigation Association.
- Baum, M. C., Dukes, M. D., & Miller, G. L. (2005). Analysis of residential irrigation distribution uniformity. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 131(4), 336-341. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2005\)131:4\(336\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2005)131:4(336))
- Benjamin, J. G., Havis, H. R., Ahuja, L. R., & Alonso, C. V. (1994). Leaching and water flow patterns in every-furrow and alternate-furrow irrigation. *Soil Science Society of America Journal*, 58(5), 1511-1517. <https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050034x>
- Buendía Espinoza, J. C., Palacios Vélez, E., Chávez Morales, J., & Rojas Martínez, B. (2004). Impacto del funcionamiento de los sistemas de riego presurizados en la productividad de ocho cultivos, en Guanajuato, México. *Agrociencia*, 38(5), 477-486. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30238501>
- Castro Popoca, M., Águila Marín, F. M., Quevedo Nolasco, A., Kleisinger, S., Tijerina Chávez, L., & Mejía Sáenz, E. (2008). Sistema de riego automatizado en tiempo real con balance hídrico, medición de humedad del suelo y lisímetro. *Agricultura Técnica en México*, 34(4), 459-470. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172008000400009
- Cisneros, E., González, Á., García, A., Placeres, Z., & Jiménez, E. (2014). Evaluación y propuesta de medidas en diferentes técnicas de riego por aspersión para un uso eficiente del agua. *Revista Ingeniería Agrícola*, 4(1), 22-28. <https://www.redalyc.org/pdf/5862/586262039005.pdf>
- De la Cruz Tun Dzul, J., Ramírez Jaramillo, G., Sánchez Cohen, I., Lomas Barrié, C. T., & Cano González, A. de J. (2011). Diagnóstico y evaluación de sistemas de riego en el Distrito 048 Ticul, Yucatán. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(número especial), 5-18. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342011000700001
- DeBoer, D. W., Monnens, M. J., & Kincaid, D. C. (2000). Rotating-plate sprinkler spacing on continuous-move irrigation laterals. En R. G. Evans, B. L. Benham, & T. P. Trooien (Eds.), *Proceedings of the 4th Decennial Symposium* (pp. 115-122). American Society of Agricultural Engineers (ASAE).
- Doorenbos, J., & Pruitt, W. O. (1975). Guidelines for predicting crop water requirements. *Irrigation and Drainage Paper*, (24). <https://www.nrc.gov/docs/ML1821/ML18215A282.pdf>
- Evans, R. G., & King, B. A. (2012). Site-specific sprinkler irrigation in a water-limited future. *Transactions of the ASABE*, 55(2), 493-504. <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=41382>



- Evett, S. R., Schwartz, R. C., Casanova, J. J., & Heng, L. K. (2012). Soil water sensing for water balance, ET and WUE. *Agricultural Water Management*, 104(6), 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.12.002>
- Flores-Gallardo, H., Sifuentes-Ibarra, E., Flores-Magdaleno, H., Ojeda-Bustamante, W., & Ramos-García, C. R. (2014). Técnicas de conservación del agua en riego por gravedad a nivel parcelario. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(2), 241-252. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342014000200006
- Flórez-Tuta, N., Zution-Gonçalves, I., Feitosa, D. R.-C., Agnellos-Barbosa, E. A., Ponciano-de Deus, F., Diego-Ribeiro, M., & Eiji-Matsura, E. (2013). Eficiencia de aplicación de agua en la superficie y en el perfil del suelo en un sistema de riego por aspersión. *Agrociencia*, 47(2), 107-119. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952013000200001
- González-Camacho, J. M., Muñoz-Hernández, B., Acosta-Hernández, R., & Mailhol, J. C. (2006). Modelo de la onda cinemática adaptado al riego por surcos cerrados. *Agrociencia*, 40(6), 731-740. <https://www.redalyc.org/pdf/302/30240605.pdf>
- Kijne, J. W., Barker, R., & Molden, D. (2003). *Water productivity in agriculture: Limits and opportunities for improvement*. CABI. <https://doi.org/10.1079/9780851996691.0000>
- Kincaid, D. C., King, B. A., & DeBoer, D. W. (2000). Sprinkler packages and their configurations for center pivot irrigation. En *National Irrigation Symposium: Proceedings of the 4th Decennial Symposium* (pp. 109-114).
- Levy, D., Coleman, W. K., & Veilleux, R. E. (2013). Adaptation of potato to water shortage: Irrigation management and enhancement of tolerance to drought and salinity. *American Journal of Potato Research*, 90, 186-206. <https://doi.org/10.1007/s12230-012-9291-y>
- Louie, M. J., & Selker, J. S. (2000). Sprinkler head maintenance effects on water application uniformity. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 126(3), 142-148. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2000\)126:3\(142\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2000)126:3(142))
- Luo, X., Xia, J., & Yang, H. (2015). Modeling water requirements of major crops and their responses to climate change in the North China Plain. *Environmental Earth Sciences*, 74(4), 3.531-3.541. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4400-0>
- Molden, D. (1997). *Accounting for water use and productivity (SWIM Paper 1)*. International Irrigation Management Institute. https://www.iwmi.cgiar.org/Publications/SWIM_Papers/PDFs/SWIM01.PDF
- Montero, J., Martínez, A., Valiente, M., Moreno, M. A., & Tarjuelo, J. M. (2013). Analysis of water application costs with a centre pivot system for irrigation of crops in Spain. *Irrigation Science*, 31, 507-521. <https://doi.org/10.1007/s00271-012-0326-4>



- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2001). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación*. <https://www.fao.org/3/x9800s/x9800s00.htm>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2003). *Descubrir el potencial del agua para la agricultura*. <https://www.fao.org/3/Y4525S/y4525s00.htm#Contents>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2006). Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. *Estudio FAO Riego y Drenaje* (56). <https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2011). *The state of the world's land and water resources for food and agriculture (SOLAW). Managing systems at risk*. <https://www.fao.org/3/i1688e/i1688e.pdf>
- Ouazaa, S., Latorre, B., Burguete, J., Serreta, A., Playán, E., Salvador, R., Paniagua, P., & Zapata, N. (2015). Effect of the start-stop cycle of center-pivot towers on irrigation performance: Experiments and simulations. *Agricultural Water Management*, 147, 163-174. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.05.013>
- Pedroza Sandoval, A., Ríos Flores, J. L., Torres Moreno, M., Cantú Brito, J. E., Piceno Sagarnaga, C., & Yáñez Chávez, L. G. (2014). Eficiencia del agua de riego en la producción de maíz forrajero (*Zea mays* L.) y alfalfa (*Medicago sativa*): impacto social y económico. *Terra Latinoamericana*, 32(3), 231-239. <https://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v32n3/2395-8030-tl-32-03-00231.pdf>
- Samian, M., Mahdei, K. N., Saadi, H., & Movahedi, R. (2015). Identifying factors affecting optimal management of agricultural water. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 14(1), 11-18. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2014.01.001>
- Santos, L., De Juan, J. A., Picornell, M. R., & Tarjuelo, J. M. (2010). *El riego y sus tecnologías*. CREA-UCLM.
- Senninger. (s. f). *I-WBO2*. https://www.senninger.com/sites/senninger.hunterindustries.com/files/i-wob2_folleto.pdf
- Tarjuelo, J. M., De Juan, J. A., Valiente, M., & García, P. (1996). Model for optimal cropping patterns within the farm based on crop water production functions and irrigation uniformity. II. A case study of irrigation scheduling in Albacete, Spain. *Agricultural Water Management*, 31(1), 145-163. [http://dx.doi.org/10.1016/0378-3774\(95\)01220-6](http://dx.doi.org/10.1016/0378-3774(95)01220-6)
- Yacoubi, S., Zayani, K., Slatni, A., & Playán, E. (2012). Assessing sprinkler irrigation performance using field evaluations at the Medjerda Lower Valley of Tunisia. *Engineering*, 4(10), 682-691. <http://dx.doi.org/10.4236/eng.2012.410087>
- Zhang, L., & Merkley, G. P. (2012). Relationships between common irrigation application uniformity indicators. *Irrigation Science*, 30, 83-88. <https://doi.org/10.1007/s00271-011-0264-6>



Zwart, S. J., & Bastiaanssen, W. G. M. (2004). Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. *Agricultural Water Management*, 69(2), 115-133. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2004.04.007>



Capítulo III.

Producción, cosecha y poscosecha de cultivos forrajeros

José Edwin Mojica Rodríguez, Luis Fernando Gómez Ramírez,
Claudia Maricel Ipaz Cuastumal, Esteban Burbano Erazo y
Simón Andrés del Cristo Albonis Gómez



Introducción

Actualmente, los sistemas de producción bovina se enfrentan a la variabilidad y el cambio climáticos, que producen impactos negativos sobre la respuesta animal (Tapasco et al., 2015). La base de alimentación de los bovinos está dada principalmente por gramíneas, las cuales son susceptibles a la estacionalidad y variabilidad climáticas (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] & Agencia de Desarrollo Rural [ADR], 2019). La estacionalidad climática en la región, caracterizada por un periodo seco de entre 5 y 6 meses al año, disminuye la producción y la calidad nutricional de las gramíneas de pastoreo, lo que impacta negativamente la producción de leche o carne. Sin embargo, debido a la variabilidad climática, los periodos de lluvia también pueden llegar a ser frecuentes e intensos, con lo que generan las mismas consecuencias de las sequías en las ganaderías (Mahеча et al., 2002); todo esto conlleva al planteamiento de alternativas tecnológicas para mitigar esos efectos negativos sobre el sistema de producción.

Ante esta situación, los ganaderos pueden optar por diferentes alternativas, como la utilización de forrajes conservados, la suplementación con subproductos alimenticios regionales y la tecnificación del cultivo de forrajes con sistemas de riego, entre otras (Gutiérrez-Guzmán et al., 2022; Vives, 2012). La conservación de forrajes, en forma de heno o ensilaje, es la tecnología más utilizada por los productores de la región, siendo los pastos Ángleton (*Dichanthium aristatum*), Colosuana (*Bothriochloa pertusa*) y Guinea (*Megathyrsus maximus*) las especies más utilizadas para el primer método de conservación (heno) (Burbano Erazo et al., 2019; Mejía Kerguelén et al., 2019), mientras que los cultivos de maíz y sorgo forrajero son los más usados para el segundo (ensilaje) (Bernal et al., 2014). No obstante, la producción de estos cultivos forrajeros puede disminuir por una deficiente germinación o desarrollo vegetal a causa de eventos intensos de precipitación o muy pocos en el tiempo; en este último caso, la producción se disminuye debido a la reducción de la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo, lo que provoca un déficit hídrico que deriva en una disminución en el transporte de nutrientes hacia las plantas.



Con base en lo anterior, es común observar una baja producción de forraje en los cultivos establecidos por los productores que no utilizan un sistema de riego durante las épocas de lluvia, debido a la variabilidad climática, que puede producir un déficit hídrico de la planta durante su desarrollo. Sin embargo, esto no quiere decir que solamente con la implementación de un sistema de riego tecnificado se pueda mejorar la productividad de las especies forrajeras, ya que, al considerar a estas especies como cultivos de importancia agrícola, también se requiere de un esquema de manejo agronómico para optimizar su rendimiento (Garrido-Rubiano et al., 2017).

La alimentación de los bovinos se debe desarrollar principalmente con los recursos presentes en las fincas ganaderas, lo cual contribuye a reducir los costos de los alimentos y la huella de carbono (por la disminución de emisiones en el transporte de alimentos), contribuyendo así a la sostenibilidad de la producción bovina. De esta manera, el productor debe contar con las herramientas necesarias para realizar un manejo agronómico que permita optimizar la producción tecnificada de forrajes con el uso de riego y fertirriego (Gutiérrez-Guzmán et al., 2022; Torregroza et al., 2015). En el presente capítulo se detalla la producción de cultivos forrajeros para su posterior conservación, en forma de heno o ensilaje, mediante la utilización de un sistema de riego por pivote central, en las condiciones del Caribe seco.

Adecuación del lote para la producción de cultivos forrajeros con pivote central

Previo al establecimiento de los cultivos, fue necesaria una adecuación general del terreno, y al iniciar cada ciclo se estimaron las láminas brutas de irrigación, tal como se describe en el siguiente apartado.

Preparación del suelo y riego

La adecuación del terreno se realizó en un área de 30,5 ha circulares, mediante las siguientes labores: inicialmente, se retiró el material vegetal para facilitar el tránsito libre del sistema de riego por pivote central. Posteriormente, se incorporó al suelo el material vegetal, se realizó el levantamiento topográfico para el trazado de los canales de drenaje y se realizó una nivelación convencional de la mitad del terreno (15 ha). En el área restante, caracterizada por presentar depresiones pronunciadas, se implementó una nivelación láser con el fin de mantener las pendientes naturales del



terreno, mejorar el drenaje y facilitar el movimiento del pivote. Luego, se hizo el plano de campo y se definió el trazado de los canales en los perímetros y en el interior de cada uno de los sectores en que se dividió el lote. Antes de la siembra, como enmienda, se aplicó azufre elemental (400 y 600 kg/ha) en las zonas afectadas por exceso de sodio.

A partir de los datos históricos de la estación agroclimatológica del Ideam, y teniendo en cuenta la fenología, los coeficientes de los cultivos y las condiciones del suelo, se planteó, con el programa Cropwat, el cronograma de riego en cada ciclo de producción. Las láminas brutas se ajustaron de acuerdo con el comportamiento de las lluvias. Durante la germinación, se mantuvo la humedad cercana a capacidad de campo y, una vez pasada esta etapa, se regó según el plan generado en el *software*. El procedimiento se hizo igual en todos los cultivos, lo cual se describió con mayor detalle en el capítulo II.

Al final, la distribución de los cultivos en el lote fue la siguiente: 5 ha para el pasto *M. maximus* cv. Agrosavia Sabanera, 15 ha para el establecimiento de maíz híbrido Pioneer 30F35 para forraje y 10 ha para el establecimiento de sorgo forrajero Corpoica JJT-18. Con base en el estudio previo espacial del pH, se ubicó el pasto en la zona más crítica (pH más alto), dada su tolerancia a la alcalinidad y al estrés hídrico, mientras que los cultivos de sorgo y maíz se establecieron en áreas con suelos menos alcalinos, dada su baja tolerancia a pH elevados. Como estrategias de mejora del suelo en un mediano plazo, se aplicó azufre como enmienda y se realizaron canales de escorrentía para facilitar el lavado del sodio del suelo.

Producción de cultivos forrajeros

A continuación, se describe la producción de los forrajes a partir de los cultivos de pasto Guinea (*M. maximus*) cv. Agrosavia Sabanera, sorgo forrajero Corpoica JJT-18 y maíz híbrido Pioneer 30F35.

Pasto Guinea (*M. maximus*) cv. Agrosavia Sabanera

En la ganadería de la región Caribe, los productores utilizan el pasto Guinea (*M. maximus*) como una de las principales gramíneas introducidas. Los cultivares Mombasa y Tanzania predominan en las fincas ganaderas, a pesar de que se conocen otros



cultivares como el Massai. El cultivar Agrosavia Sabanera de pasto Guinea es una gramínea que se seleccionó entre varias accesiones de esta misma especie debido a su excelente producción y calidad nutricional del forraje, así como por su frecuente producción de semilla en evaluaciones agronómicas (Burbano Erazo et al., 2019; Mejía Kerguelén et al., 2018; Tapia-Coronado et al., 2019). En el municipio de Agustín Codazzi, Cesar, correspondiente al Caribe seco, en la época del año con máxima precipitación (octubre), se observó que la producción de leche vendible por día en vacas Gyr × Holstein de primer tercio de lactancia tendió ($p=0,07$) a incrementar con el cultivar Agrosavia Sabanera (7,3 L), en comparación con el cultivar Tanzania (6,7 L). Adicionalmente, la leche presentó un mayor ($p<0,05$) contenido de sólidos totales (12,6%) y tendieron ($p=0,06$) a aumentar el contenido de grasa en la leche (3,9%), en comparación con el cultivar Tanzania (sólidos totales: 12,2%; grasa: 3,4%). Estos resultados indican que, en estas condiciones, el cultivar Agrosavia Sabanera tiene el potencial de incrementar en un 65,9% la producción de leche por vaca al día, teniendo en cuenta los valores observados en ganaderías de doble propósito en la microrregión del Valle del Cesar, correspondientes a 4,4 L/vaca/día de leche vendible en vacas mestizas en primer tercio de lactancia alimentadas con pasto Colosuana (*B. pertusa*) (Mojica-Rodríguez & Burbano-Erazo, 2020).

El uso de esta gramínea también se ha evaluado en ganadería de ceba en el Caribe. En evaluaciones realizadas en el municipio de Chinú, Córdoba, con bovinos Brahman comercial en fase de levante, la respuesta en producción de carne/ha/año aumentó un 10,4% al consumir pasto Agrosavia Sabanera, en comparación con pasto Mombasa (Mejía-Kerguelén et al., 2020).

La respuesta productiva favorable de este cultivar en el Caribe colombiano ha permitido atender las necesidades de los productores que requieren especies forrajeras con la capacidad de adaptarse a las condiciones edafoclimáticas de la región, junto con prácticas de manejo agronómico adecuadas para optimizar su producción.

Manejo agronómico

Las labores realizadas y el manejo que se le dio al cultivo de pasto se describen en los siguientes apartados.



Preparación del suelo

Al considerar las características físicas del suelo y la topografía del terreno, se pueden definir las prácticas de manejo requeridas para la preparación del suelo. En este caso, el suelo requirió dos pases de cincel rígido en dos direcciones, dos pases de rasra (figura 3.1a) y uno o dos pases de pulidor (figura 3.1b) para obtener los agregados ideales, que favorecieran la siembra de los cultivos forrajeros.



Figura 3.1. Preparación del suelo en el lote para la siembra de pasto. a. Pase de rasra; b. Pase de pulidor.

Fotos: Simón Andrés del Cristo Albonis Gómez

De igual manera, es fundamental definir si el suelo permite una adecuada infiltración del agua, con el fin de diseñar un sistema de drenajes que permita manejar la humedad del terreno. Para el desarrollo de estas labores, fue importante realizar una planificación oportuna y eficiente de esta actividad, principalmente cuando se hizo uso de maquinaria agrícola, debido a que el peso de los implementos, el tractor y los accesorios en suelos con alta humedad puede generar problemas de compactación. Los canales de aguas de escorrentía se construyeron a una profundidad inferior a 30 cm en el perímetro, en el interior de cada sector, y se realizaron de manera mecánica (figura 3.2) o manual. Finalmente, la adecuada preparación del suelo permitió realizar un control mecánico de las arvenses presentes en el terreno por sembrar, lo cual se complementó con su manejo integrado antes y después de la siembra.



Figura 3.2. Elaboración de canales de drenaje en el lote.

Foto: Simón Andrés del Cristo Albonis Gómez

Siembra

La semilla de algunas gramíneas se caracteriza por presentar latencia tardía, por lo que la semilla obtenida a partir de una cosecha artesanal puede requerir de algunos meses antes de poder ser utilizada. El bajo porcentaje de germinación puede provocar una población reducida y una cobertura del suelo baja, que disminuirán la producción de forraje, por lo que se recomienda utilizar semilla certificada, que garantice una alta calidad en el producto, para obtener una germinación excelente. De acuerdo con lo anterior, antes de sembrar, es necesario definir la densidad de siembra, teniendo en cuenta su porcentaje de germinación. Por otro lado, se debe realizar una calibración de la sembradora que permita distribuir la semilla uniformemente en el terreno. Para esta calibración, se adecuó la máquina para obtener la distancia requerida entre surcos y la cantidad adecuada de semilla por metro lineal. Sin embargo, durante la labor de siembra, es recomendable realizar monitoreos aleatorios de la distribución de la semilla en el lote para verificar que se esté realizando de manera adecuada (figura 3.3).



Figura 3.3. Calibración de la sembradora en campo. a. Verificación de la calibración; b. Vista de las minitolvas con las semillas.

Fotos: Simón Andrés del Cristo Albonis Gómez

El cultivar Agrosavia Sabanera de pasto Guinea fue utilizado en los sistemas intensivo y tecnificado, con un sistema de riego por pivote central, para la producción de heno, considerando una distancia entre surcos de 50 cm y una densidad de siembra de 8 kg/ha, ajustada con el porcentaje de germinación, teniendo en cuenta que la densidad recomendada es de 6 kg/ha.

La semilla presentó un porcentaje de germinación superior al 70 %. La emergencia de las plantas se observó a los cuatro días después de la siembra (DDS), en zonas del lote que presentaron buenas propiedades fisicoquímicas del suelo; sin embargo, en dos zonas caracterizadas por altos contenidos de sodio y altos niveles de pH (superior a 7,8), esta germinación fue nula o muy baja ($\leq 10\%$). Por lo tanto, en estas zonas se realizó otro pase de pulidor, para descompactar el suelo en la superficie, y se resembró con semilla sexual al voleo y con material vegetativo (macollas), lo que mejoró la emergencia y la cobertura, pero luego fue evidente un menor crecimiento de las plantas y una menor producción de biomasa en comparación con las zonas no afectadas por sodio.

Control de arvenses

El manejo de arvenses se dividió en dos etapas. La primera correspondió al manejo de arvenses en presiembra. Luego de la preparación del terreno, se removieron los agregados del suelo, con lo que se cubrieron algunas arvenses y se dispersaron sus semillas, condición que favoreció que estas germinaran y se generara, así, una



competencia por nutrientes y por la captación de la luz, ocasionando una reducción en el crecimiento o pérdidas en la población de plantas del cultivo de interés. Por lo anterior, se implementó una alternativa muy utilizada por los productores, correspondiente al control químico mediante la aplicación de herbicida (glifosato; 2 L/ha) después de la preparación del suelo y la estimulación de la emergencia de las arvenses durante cerca de diez días, lo cual se realizó con la aplicación de riegos para garantizar una buena humedad del suelo, con el fin de eliminar las malezas que iniciaron su crecimiento; después de este proceso, se procedió con la labor de siembra. Este manejo permitió que el cultivo tuviera cierta ventaja en su crecimiento frente a las arvenses, lo que mejoró su capacidad de competir por nutrientes y agua.

La segunda etapa del manejo de arvenses correspondió a un manejo posemergente, e involucró todas las labores necesarias para evitar que la presencia de arvenses afectara el desarrollo de las plántulas emergidas. Sin embargo, esta etapa dependió del control presiembra, debido a que un buen manejo inicial de arvenses (presiembra) facilita el control posterior (posemergencia). El control químico para gramíneas involucra el uso de productos que generalmente tienen un efecto sobre todo tipo de gramíneas, por lo que un manejo contra estas no es fácil después de la germinación, pues también afecta la pastura o gramínea sembrada, mientras que, con la presencia de arvenses conocidas como de hoja ancha, el control químico selectivo puede ser eficiente, mediante una aplicación generalizada, sin generar efectos negativos sobre la pastura.

En la región es común encontrar arvenses como la verdolaga (*Portulaca oleracea*) y la tripa de pollo (*Commelina diffusa*), malezas de hoja ancha que fueron controladas con el herbicida 2,4 D amina (1,5 L/ha). El coquito (*Cyperus rotundus*) es otra maleza que ha tenido alta presencia en los lotes, y su control con herbicidas no selectivos ha perdido eficiencia, posiblemente por la capacidad de la planta para tolerar el efecto generado por este tipo de herbicidas, lo que ha llevado a la utilización de otros productos que tienen como ingrediente activo el halosulfuron metil (120 g/ha), los cuales han mostrado buenos resultados para el control de esta arvense.

Manejo integrado de plagas y enfermedades (MIPE)

Durante los primeros cuatro meses de desarrollo del cultivo, se realizaron monitoreos semanales de plagas y enfermedades con el fin de identificar agentes biológicos limitantes que pudieran afectar el desarrollo de las plantas, para implementar medidas



de manejo oportunas para su control. Después de los cuatro meses, los monitoreos se hicieron con una frecuencia quincenal. Durante el desarrollo del cultivo (previo a la uniformización), no se observaron ataques de plagas ni incidencia de enfermedades. Sin embargo, tres semanas después de realizar el corte de uniformización (cuatro meses después del establecimiento del cultivo), se observó la presencia del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), con una incidencia del 31,4 %. Durante los meses posteriores, la incidencia de este lepidóptero no superó el 1 %.

Para el manejo de este insecto plaga cuando tuvo mayor incidencia, fue necesario un control químico mediante la aplicación de spinetoram (400 mL/ha) por medio de aguilón (diluido en 600 L de agua) acondicionado al tractor (figura 3.4).



Figura 3.4. Aplicación de insecticida con aguilón para el control de *S. frugiperda* en pasto.

Foto: Simón Andrés del Cristo Albonis Gómez

Fertilización

Por medio del sistema de riego por aspersión con pivote central, se ejecutó el plan de fertilización (fertirrigación) con fertilizantes de alta solubilidad, el cual se



complementó con fertilización edáfica (tabla 3.1). La fertilización se definió a partir del análisis fisicoquímico del suelo y de los requerimientos nutricionales del pasto Guinea cv. Agrosavia Sabanera. Con base en la reacción alcalina del suelo, las fuentes de fertilizantes utilizadas fueron en forma de sulfatos, y para mejorar la disponibilidad del fósforo en el suelo, se utilizó como enmienda el azufre.

Tabla 3.1. Fuentes de fertilizantes y plan de fertilización para una hectárea de pasto Guinea cv. Agrosavia Sabanera

Fuente	Cantidad	Días después de siembra o después de corte		
		8	14	21
Fertirrigación				
Urea (kg)*	10	0	0	10
Sulfato de amonio (kg)*	75	15	30	30
Cloruro de potasio (kg)*	75	15	30	30
Sulfato de hierro (kg)*	3	1	1	1
Ácido fosfórico al 61 % (L)	8	3	3	2
Fertilización edáfica				
Azufre (kg)**	400			

* Se aplicó en fertirriego, en un tanque de mezcla, teniendo en cuenta la solubilidad del fertilizante y su compatibilidad con otros fertilizantes.

** Se aplicó al voleo en la preparación del suelo o después de la cosecha.

Fuente: Elaboración propia

El cultivo se desarrolló durante tres meses, tiempo en el que logró una cobertura superior al 90 %; posteriormente, se realizó un corte de uniformización para iniciar la producción de forraje destinada a la elaboración de heno.

Producción de heno y calidad nutricional

La producción de heno se incrementó a medida que el pasto maduró; sin embargo, ese incremento en producción de heno se asoció negativamente con su calidad nutricional (figura 3.5), expresada en un menor contenido de proteína cruda y un mayor contenido de fibra (tabla 3.2), lo cual tiene implicaciones negativas en la respuesta productiva de los rumiantes, pues se reduce la cantidad de nutrientes digestibles.



Se realizaron cortes de forraje en diferentes edades de rebrote para determinar el tiempo adecuado de cosecha de este material forrajero. La recomendación es obtener una buena producción de heno a una edad de rebrote de 49 días para ofrecer un mayor contenido de proteína y un menor contenido de fibra en el forraje, lo cual llena en mayor medida los requerimientos de proteína y energía de los bovinos para producción de leche o carne, en comparación con un forraje más maduro. Esto es relevante teniendo en cuenta que los henos comerciales de los pastos Colosuaña o Ángleton contienen entre el 2 % y el 4 % de proteína cruda porque son cosechados en edades de rebrote maduras (>120 días) para producir la mayor cantidad de heno por hectárea, pero en detrimento de su calidad.

La producción promedio de materia seca (MS) (1.917 kg/ha) a los 35 días de rebrote fue similar a la reportada con riego (1.900 kg/ha) y fertirriego (2.055 kg/ha) en pasto Guinea bajo un sistema silvopastoril ordenado en época seca, y fue superior a la producción de forraje (1.242 kg/ha) de pasto Guinea en un sistema silvopastoril de árboles dispersos.

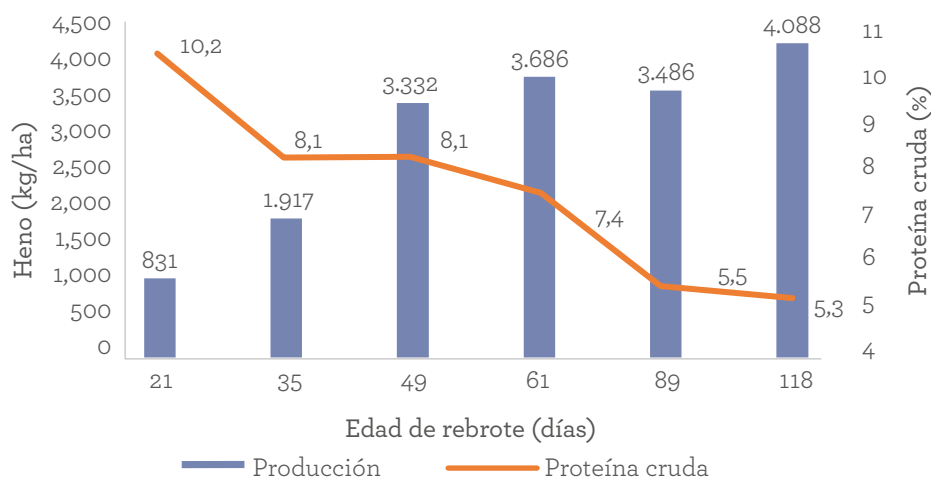


Figura 3.5. Producción de heno y contenido de proteína cruda de pasto Agrosavia Sabanera a diferentes edades de rebrote con sistema de riego por pivote central.

Fuente: Elaboración propia



Tabla 3.2. Calidad nutricional en henos de pastos comerciales (Colosuana y Ángleton) y del pasto Agrosavia Sabanera en función de la edad de rebrote con la utilización de un sistema de riego por pivote central

Edad de rebrote (días)	Proteína cruda (%)	Fibra detergente neutra (%)	Fibra detergente ácida (%)	Extracto etéreo (%)	Cenizas (%)	Energía metabolizable en rumiantes (Mcal/kg de MS)*
21	10,2	59,0	37,5	1,2	12,3	1,77
35	8,1	60,7	38,7	0,9	12,6	1,65
49	8,1	62,4	38,3	0,9	11,9	1,66
61	7,4	67,4	33,3	1,2	12,8	—
89	5,5	73,7	35,7	1,0	9,7	—
118	5,3	73,0	35,1	1,0	10,2	—
120 ¹	4,2	70,3	48,4	1,2	10,4	—
120 ²	2,4	71,7	40,8	1,7	9,3	1,50

¹ Heno Colosuana comercial

² Heno Ángleton comercial

Fuente: Elaboración propia con base en documentos internos de AGROSAVIA

Sorgo forrajero JJT-18

El sorgo dulce presenta la ventaja de ser una especie de rápido crecimiento, tolerar la sequía y tener bajos requerimientos nutricionales. La especie de sorgo cultivada corresponde a *Sorghum bicolor* (L.) Moench, con alta eficiencia en el almacenamiento de azúcares en el tallo después de la floración. La variedad de sorgo JJT-18 se obtuvo a partir de un proceso de selección recurrente recíproca, partiendo de la evaluación de líneas de sorgo en los departamentos de Córdoba, Meta, Tolima y Cesar. En dicho proceso, se seleccionaron nueve genotipos con alto potencial de producción de biomasa y carbohidratos en el tallo (Bernal et al., 2011).

Manejo agronómico

Las labores realizadas y el manejo que se le dio al cultivo de sorgo para la producción de ensilaje se describen en los siguientes apartados.



Preparación del suelo

La preparación del terreno se realizó de la misma forma que para el cultivo de pasto Guinea cv. Agrosavia Sabanera, y se complementó con la elaboración de drenajes en el área por intervenir.

Siembra

Se utilizó una densidad de siembra de 7 kg/ha, con el objetivo de obtener una emergencia de 10 a 12 plantas por metro lineal. La distancia entre surcos empleada fue de 0,8 m, para un total de 12.500 metros lineales por hectárea, con el establecimiento de entre 125.000 y 150.000 plantas/ha.

La emergencia de las plantas se observó entre 4 y 7 DDS, tiempo en el cual se logró la germinación del 90 % de las plantas.

Control de arvenses

El control en preemergencia fue realizado con glifosato (2 L/ha). En posemergencia, las malezas más abundantes en el lote fueron las de hoja ancha y el coquito (*C. rotundus*), que estuvieron focalizadas en determinadas partes del lote. El control de malezas de hoja ancha se realizó con atrazina (2 L/ha) y se complementó con controles mecánicos (guadaña manual), estos últimos especialmente para erradicar el blede de espinas que lograba sobresalir entre los surcos. El control del coquito se realizó con un herbicida comercial a base de halosulfuron metil (120 g/ha).

Manejo integrado de plagas y enfermedades (MIPE)

El sorgo es un cultivo susceptible al ataque de insectos plaga, especialmente del gusano cogollero o gusano ejército (*S. frugiperda*), el cual se sitúa principalmente en el cogollo de la planta o en la parte apical en estado tierno, a la vez que también es atacado por el gusano barrenador del tallo (*Diatraea saccharalis*) y por pulgones o áfidos (*Melanaphis sacchari*). En el primer monitoreo realizado (9 DDS), se observó un ataque de gusano cogollero, por lo cual se realizó control químico con el insecticida spinetoram (250 mL/ha) con el uso de aguilón. Posteriormente, a los 30 DDS, se realizó un segundo control utilizando cipermetrina (350 mL/ha) con aguilón. Por último, se realizó un tercer control, a los 40 DDS, con el insecticida spinetoram (25 mL/20 L de agua), utilizando bomba de espalda, pero aplicándolo directamente al



cogollo de las plantas para realizar un mejor control de las poblaciones de larvas, que se encontraban en todos sus estadios. Por otra parte, a los 45 DDS se evidenció una alta incidencia de áfidos o pulgón amarillo (27,6 %). Esta plaga se ha convertido, en los últimos años, en una de las más limitantes en los cultivos de sorgo y maíz. Son insectos de tamaño muy pequeño (2 mm), pertenecientes al orden Hemiptera. En cultivos de sorgo establecidos en el Caribe, se presenta una alta incidencia de esta plaga a pesar de que se realiza un manejo preventivo a temprana edad.

Estos áfidos o pulgones (figura 3.6a) son insectos chupadores de los azúcares de las plantas, por lo que producen su debilitamiento. Después de la succión de sustancias azucaradas, producen una excreción mielecilla que es notable en el haz de la lámina foliar, lo que trae como consecuencia el desarrollo de fumagina (crecimiento de hongos), que a su vez produce necrosis de los tejidos vegetales (figura 3.6b).

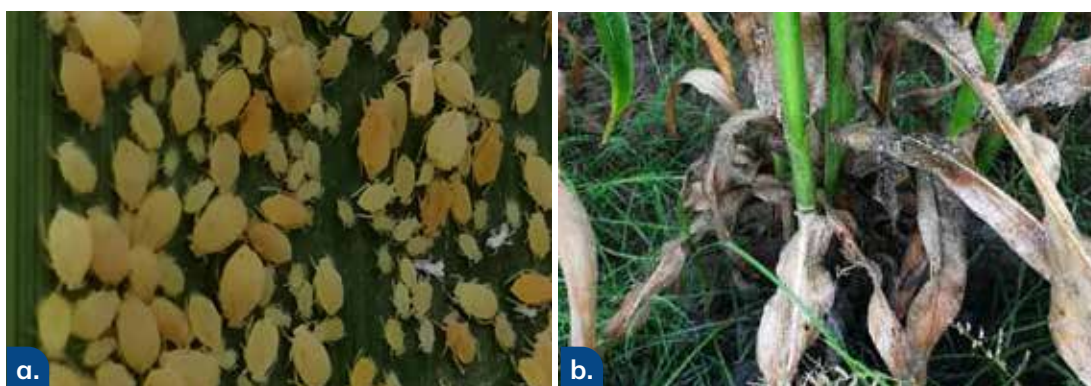


Figura 3.6. Áfidos o pulgones en plantas de sorgo. a. Ninfas en el envés de la hoja; b. Plantas afectadas por fumagina en hojas bajas.

Fotos: Simón Andrés del Cristo Albonis Gómez

Teniendo en cuenta la alta incidencia de esta plaga, fue necesario implementar tres controles químicos con aplicaciones de imidacloprid (35 mL/20 L de agua) solo o mezclado con cipermetrina (35 mL/20 L de agua) y un coadyuvante de uso agrícola (polisacáridos, alcoholes polivinílicos, siliconas y sustancias reguladoras del pH; 200 mL/20 L de agua), utilizando bombas de espalda.



Fertilización

El plan de fertilización que se aplicó al cultivo se indica en la tabla 3.3. En las áreas afectadas se utilizaron fuentes de acidez como sulfatos, y, como enmienda, se usó azufre.

Tabla 3.3. Fuentes de fertilizantes y plan de fertilización para una hectárea de sorgo JJT-18

Fuente	Cantidad	Días después de siembra				
		15	30	40	50	60
Fertirrigación						
Urea (kg)*	75	11	15	15	17	17
Sulfato de amonio (kg)*	250	38	50	50	56	56
Cloruro de potasio (kg)*	150	23	30	30	34	34
Sulfato de hierro (kg)*	3	3				
Ácido fosfórico al 61 % (L)	8	2	2	2	1	1
Fertilización edáfica						
Azufre (kg)**	400					

* Se aplicó en fertirriego, en un tanque de mezcla, teniendo en cuenta la solubilidad del fertilizante y su compatibilidad con otros fertilizantes.

** Se aplicó al voleo en la preparación del suelo o después de la cosecha.

Fuente: Elaboración propia

Producción de forraje de sorgo JJT-18 y calidad nutricional del ensilaje

La producción de forraje verde osciló entre 24 y 33,5 t/ha (figura 3.7), con un promedio de 30,6 t/ha y una desviación estándar de $\pm 4,5$ t/ha. Se observó una producción de 12,8 t/ha en un ciclo de siembra que tuvo alta incidencia de ataque de áfidos y que estuvo afectado por un volcamiento debido a vientos fuertes que se presentaron en época de sequía. De esta forma, se recomienda establecer el cultivo en lotes que tengan cercas vivas o que no se vean afectados por los vientos, pues el desarrollo de las plantas (un promedio de 3,3 m de altura) es un factor predisponente para el volcamiento. La producción de forraje verde se acercó a la encontrada en la región Caribe (39-56 t/ha). La producción aquí obtenida se debió a las características del suelo, específicamente a los altos valores de pH y a la sodicidad que limitaron el desarrollo de las plantas.

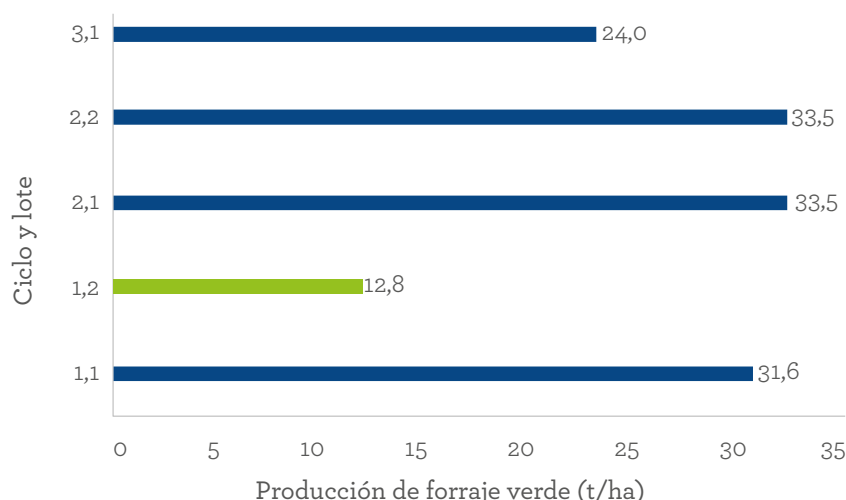


Figura 3.7. Producción de forraje verde de sorgo JJT-18 en diferentes ciclos de siembra.

Nota: En el eje y, el primer número indica el ciclo y el segundo número indica el lote.

Fuente: Elaboración propia

La producción de forraje verde fue afectada principalmente por las condiciones de pH del suelo. En zonas del terreno con pH entre 6,7 y 7,5, se estimó una producción de 42 t/ha en promedio, mientras que, en un rango de pH entre 7,6 y 9,5, se estimó una producción de 11,2 t/ha en promedio. El ensilaje de sorgo presentó un contenido de proteína cruda cercano al 8 %, con contenidos de fibra de moderados a altos y un aporte importante de energía metabolizable (tabla 3.4). En comparación con el ensilaje de maíz (tabla 3.6), el contenido de proteína cruda es mayor, con similares contenidos de fibra, pero el aporte de energía metabolizable es menor en el ensilaje de sorgo.

Tabla 3.4. Calidad nutricional del ensilaje de sorgo JJT-18 con la utilización de un sistema de riego por pivote central

Proteína cruda (%)	Fibra detergente neutra (%)	Fibra detergente ácida (%)	Almidón (%)	Extracto etéreo (%)	Cenizas (%)	Energía metabolizable en rumiantes (Mcal/kg de ms)
8,3	53,6	31,8	16,5	1,8	12,3	1,8

Fuente: Elaboración propia



Maíz Pioneer 30F35

El maíz es considerado uno de los cultivos de mayor uso e importancia para la producción de alimento para bovinos. En la actualidad se ha liberado una gran cantidad de variedades e híbridos, convencionales y transgénicos, con alto rendimiento en cuanto a grano y forraje, tolerancia a plagas y enfermedades, tolerancia a estrés abiótico, biofortificación y demás atributos que le facilitan a todo tipo de productor la utilización de esta especie para fines productivos. Para este estudio se utilizó el híbrido Pioneer 30F35.

Manejo agronómico

Las labores realizadas y el manejo que se le dio al cultivo de maíz para la producción de ensilaje se describen a continuación.

Preparación del suelo

La preparación del terreno se realizó de la misma forma que para el cultivo de pasto Guinea cv. Agrosavia Sabanera, y se complementó con la elaboración de drenajes en el área por intervenir.

Siembra

Así como en los otros cultivos, la siembra mecanizada requirió una calibración previa de la máquina, con las distancias y densidad de siembra requeridas (figura 3.8). Se utilizó una distancia entre surcos de 0,8 m, mientras que la descarga de semillas fue de 6 semillas por metro lineal, con lo que se obtuvo una densidad poblacional de 75.000 plantas/ha. Sin embargo, también existen otros sistemas productivos que contemplan el uso de densidades más altas.

La emergencia de las plántulas fue notoria a los 4 DDS y fue muy uniforme en todo el lote, con porcentajes de germinación de cerca del 94 %.



Figura 3.8. Calibración de la sembradora en campo. a. Verificación de la calibración; b. Inicio de la siembra.

Fotos: Simón Andrés del Cristo Albonis Gómez

Control de arvenses

El primer control de arvenses estuvo relacionado con la preparación del terreno, del que se removieron las arvenses presentes. Este primer control, denominado de pre-siembra, involucra que las arvenses, al contar con la humedad suficiente en el suelo, empiecen a germinar y sean controladas con un herbicida sistémico —por ejemplo, atrazina (1,25 L/ha) y metolacolor (1,25 L/ha)—, para eliminarlas y posteriormente sembrar. Aproximadamente 15 días después de la germinación (posemergencia), dependiendo de la cantidad de arvenses presentes en el terreno de cultivo, se puede requerir una segunda aplicación de herbicida dirigida a las arvenses; en lo posible, se debe procurar que el producto químico, generalmente con modo de acción de contacto —por ejemplo, 2,4 D amina (2 L/ha)—, no toque las plantas de maíz. De esta manera, mientras las arvenses están siendo afectadas por el herbicida, se le da una ventaja al cultivo para que se desarrolle y cubra con su follaje la distancia entre los surcos, dificultando así la captación de luz por parte de las arvenses y reduciendo su crecimiento.

Después de la emergencia del cultivo, la principal maleza que se observó fue el coquito (*C. rotundus*), que fue controlado a los 11 DDS con el herbicida halosulfuron metil (120 g/ha) mezclado en el agua con un coadyuvante y regulador del pH (Agrotin; 200 mL/20 L de agua).



El control fue efectivo en la parte central de las calles entre surcos, pero no así en la zona cercana al surco y dentro de este, por lo cual fue necesario realizar una segunda aplicación utilizando láminas de madera (barrera) al borde del surco, para proteger las plantas de maíz, con el objetivo de aplicar el producto sin pantalla, para que la aspersión afectara la mayor cantidad de plantas de coquito (figura 3.9). Es importante realizar el control de esta maleza en etapas tempranas de desarrollo, ya que, si se realiza en etapa de floración, es muy probable que el herbicida tenga poco efecto.



Figura 3.9. Aplicación del herbicida usando barreras.

Foto: Simón Andrés del Cristo Albonis Gómez

Manejo integrado de plagas y enfermedades (MIPE)

El cultivo de maíz tipo convencional presenta una alta susceptibilidad a plagas y enfermedades, por lo que se realizaron evaluaciones semanales en el cultivo para medir la incidencia de plagas. El insecto plaga limitante en el cultivo de maíz fue el gusano cogollero o gusano ejército (*S. frugiperda*), llamado así porque se suele presentar en grandes poblaciones. Este insecto, de metamorfosis completa (huevo, larva, pupa, adulto), se observó en el cultivo desde etapas muy tempranas (estadios vegetativos V2 y V3), en instares iniciales. Para el control de esta plaga se realizaron



tres aplicaciones de los insecticidas spinetoram (250 mL/ha) y cipermetrina (250 y 400 mL/ha), mediante aguilón, a los 12, 18 y 26 DDS, respectivamente. A los 43 DDS se realizó un nuevo control químico de forma sectorizada, dirigido al cogollo de las plantas, utilizando spinetoram (25 mL/20 L de agua), con el coadyuvante Agrotin (200 mL/20 L de agua).

Fertilización

La fertilización se realizó por medio de fertirriego y de forma edáfica. El plan de fertilización empleado se indica en la tabla 3.5.

Tabla 3.5. Fuentes de fertilizantes y plan de fertilización para una hectárea de maíz híbrido Pioneer 30F35

Fuente	Cantidad	Días después de siembra				
		15	30	40	50	60
Fertirrigación						
Urea (kg)*	175	31	35	35	39	35
Sulfato de amonio (kg)*	175	31	35	35	39	35
Cloruro de potasio (kg)*	100	18	20	20	23	20
Fertilización edáfica						
Azufre (kg)**	400					

* Se aplicó en fertirriego, en un tanque de mezcla, teniendo en cuenta la solubilidad del fertilizante y su compatibilidad con otros fertilizantes.

** Se aplicó al voleo en la preparación del suelo o después de la cosecha.

Fuente: Elaboración propia

Producción de forraje y calidad nutricional

La producción de forraje verde osciló entre 24,4 y 36 t/ha, con un promedio de 28,9 t/ha y una desviación estándar de $\pm 3,5$ t/ha (figura 3.10). El forraje se cosechó entre 80 y 85 DDS, tiempo en el cual el grano se encontraba en un estado lechoso.

El valor promedio de producción de forraje fue inferior al reportado por Escalona Sánchez et al. (2021), quienes obtuvieron un rendimiento promedio de 46,2 t/ha bajo fertirriego; esto se debió a las condiciones limitantes del suelo, como la alta alcalinidad.



El ensilaje de maíz presentó, en promedio, un contenido de proteína cruda cercano al 6 % (menor al ensilaje de sorgo), con contenidos medios-altos de fibra (similares al ensilaje de sorgo) y un mayor aporte de energía metabolizable (tabla 3.6) en comparación con el ensilaje de sorgo (tabla 3.4).

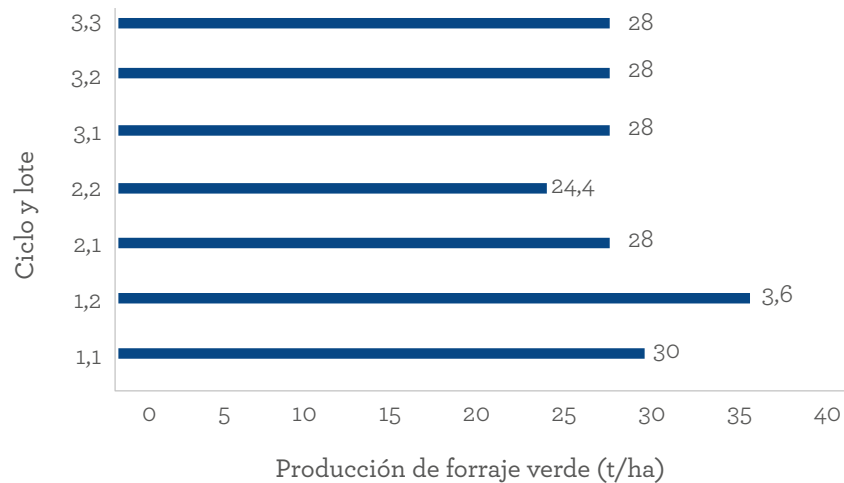


Figura 3.10. Producción de forraje verde de maíz en diferentes ciclos de siembra.

Nota: En el eje y, el primer número indica el ciclo y el segundo número indica el lote.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.6. Calidad nutricional del ensilaje de maíz híbrido Pioneer 30F35 con la utilización de un sistema de riego por pivote central

Proteína cruda (%)	Fibra detergente neutra (%)	Fibra detergente ácida (%)	Almidón (%)	Extracto etéreo (%)	Cenizas (%)	Energía metabolizable en rumiantes (Mcal/kg de MS)
6	53,5	26,7	25,7	1,9	5,8	2,5

Fuente: Elaboración propia

Conservación de forrajes

Después de la obtención del forraje, se procedió a realizar el proceso de conservación: en el caso del pasto, se elaboró heno, y para el sorgo y el maíz, se procedió a ensilarlos.



Elaboración de heno de pasto Guinea cv. Agrosavia Sabanera

La elaboración de heno a partir del pasto se hizo siguiendo las labores de corte, hilerado, enfardado, recolección y almacenamiento.

Corte

Luego del desarrollo del cultivo, cuando este había superado el periodo de floración y de producción de semilla, a los 90 DDS, se realizó un primer corte de uniformización, entre 20 y 30 cm desde el nivel del suelo, con máquina segadora (figura 3.11). Es importante indicar que en este estado fenológico el forraje tiene baja calidad nutricional por la avanzada edad del cultivo, pero, a pesar de esto, se recomienda aprovechar el forraje para el proceso de henificación, pues puede servir para complementar la base forrajera de los animales en épocas críticas de déficit de forraje en pastoreo.



Figura 3.11. Corte de pasto Agrosavia Sabanera con segadora.

Foto: Simón Andrés del Cristo Albonis Gómez



Después del corte de uniformización, se realizó la fertirrigación indicada en el manejo agronómico. Con base en la evaluación de producción y calidad nutricional del forraje, se recomienda cortar cada 49 días para su henificación.

Hilerado

Una vez realizado el corte, se utilizó un rastrillo hilerador de cinco soles, con el objetivo de acelerar la deshidratación del forraje y amontonar el material cortado en surcos (figura 3.12) para que fuera fácilmente recogido por la enfardadora.



Figura 3.12. Volteo y disposición del forraje para el enfardado. a. Pase del rastrillo hilerador; b. Forraje hilerado.

Fotos: Simón Andrés del Cristo Albonis Gómez

Enfardado

Se realiza cuando el forraje ha perdido casi la totalidad de su humedad ($>85\%$ de MS), lo cual se logró entre 3 y 5 días después de dejar el forraje en campo. Para el enfardado se utilizó una enfardadora prismática (figura 3.13) con un rendimiento de entre 70 y 130 pacas por hora. El peso de cada paca osciló entre 13 y 15 kg, con un peso promedio de 14 kg. Con base en lo anterior, a los 49 días de edad de rebrote se obtuvo una producción de 238 pacas de heno por hectárea.



Figura 3.13. Elaboracion de las pacas de heno.

Foto: Simón Andrés del Cristo Albonis Gómez

Recolección y almacenamiento de las pacas

Luego de la elaboración de las pacas de heno, el material se trasladó por medio de un remolque (figura 3.14a) y se almacenó en una bodega (figura 3.14b).



Figura 3.14. Recolección y almacenamiento de las pacas de heno. a. Transporte; b. Almacenamiento en bodega.

Fotos: Simón Andrés del Cristo Albonis Gómez

Ensilaje de maíz y sorgo

El proceso de ensilaje para cada cultivo se realizó siguiendo, de forma secuencial, las labores de corte, cosecha, elaboración de silos y reempaque.

Corte y cosecha del forraje

En cuanto al sorgo, la cosecha del forraje se realizó cuando el grano presentó un estado masoso-lechoso, a los 95 DDS, mientras que, en el caso del maíz, se realizó cuando el estado fenológico era de grano lechoso (media línea de leche), a los 74 DDS. El corte del forraje se realizó con una cosechadora con disposición frontal para cosechar cuatro surcos (figura 3.15).

Elaboración del silo

Se elaboraron silos en montón utilizando una carpa plástica negra calibre 7 de 10 m de ancho por 50 m de largo. En algunos casos se elaboraron silos con una sola carpa, y en otros, con dos carpas, dependiendo de la cantidad de forraje cosechado. En el primer caso, se extendió el plástico en el suelo y en una de sus mitades se fue descargando el forraje cortado y picado (figura 3.16a) para posteriormente extenderlo (figura 3.16b) y realizar el pisado con otro tractor (figura 3.16c). En el segundo caso,



se extendió una carpa completa en el piso y se cubrió con otra después del llenado con el forraje.



Figura 3.15. Cosechadora de forraje frontal. a. En sorgo; b. En maíz.

Fotos: Simón Andrés del Cristo Albonis Gómez



Figura 3.16. Elaboración del silo. a. Descargue del forraje picado sobre el plástico; b. Esparcimiento; c. Compactación con tractor.

Fotos: Simón Andrés del Cristo Albonis Gómez

A pesar de que el forraje de maíz y sorgo dulce —como el sorgo JYT-18— presenta altos contenidos de azúcares en el momento óptimo de corte, lo que conlleva a una apropiada fermentación anaerobia del ensilaje, se recomienda adicionar melaza al 1 % (10 g por cada 1.000 kg de forraje verde), en una dilución 1:1 (1 kg de melaza por 1 litro de agua),



para facilitar y mejorar la compactación del forraje picado (figura 3.17a) y al mismo tiempo favorecer la actividad microbiana durante el proceso fermentativo. El aditivo se aplicó con bomba de espalda cada vez que se esparcían y se compactaban las nuevas capas de forraje por el descargue de los remolques cosechados (figura 3.17b).

Cuando se alcanzó una altura entre 80 y 100 cm en la parte media del silo (figura 3.18a), se procedió a cubrirlo con la carpa plástica (figura 3.18b).



Figura 3.17. Adición de la melaza. a. Dilución; b. Aplicación con bomba de espalda sobre el forraje.

Fotos: Simón Andrés del Cristo Albonis Gómez



Figura 3.18. Cubrimiento del silo. a. Silo de montón compactado; b. Silo cubierto con carpa plástica.

Fotos: Simón Andrés del Cristo Albonis Gómez



Finalmente, se agregó tierra en la parte superior y en los bordes del silo para expulsar todo el aire contenido dentro de este, con el fin de lograr un ambiente anaeróbico (figura 3.19).



Figura 3.19. Adición de tierra. a. Sobre el silo; b. En los bordes.

Fotos: Simón Andrés del Cristo Albonis Gómez

Reempaque del ensilaje

Se recomienda un periodo de fermentación anaerobia en el ensilaje de mínimo 30 días antes de utilizarlo para la alimentación de rumiantes. Pasado este tiempo, el material ensilado se reempacó en bolsas plásticas calibre 6 con capacidad de almacenamiento de entre 60 y 70 kg, ya que el material ensilado tiene un menor volumen cuando se vuelve a almacenar. A pesar de que algunas partes del silo presentaron un color oscuro, principalmente en los extremos y los bordes (las zonas más expuestas al aire), el material, en general, presentó óptimas condiciones, con un olor agradable (a miel o azucarado), sin presencia de hongos y con un color verde amarillento característico de un buen ensilaje (figura 3.20).



Figura 3.20. Apariencia final del silo. a. Material ensilado por un periodo mayor a 30 días; b. Silo empacado en bolsas.

Fotos: Simón Andrés del Cristo Albonis Gómez

Conclusiones

El cultivo de pasto Guinea cv. Agrosavia Sabanera expresó una buena producción de forraje, mientras que los cultivos de sorgo y maíz presentaron rendimientos inferiores a los reportados en la región, todos con la implementación de un sistema de riego por pivote central y la aplicación de un plan nutricional basado en los requerimientos del cultivo y el análisis del suelo, teniendo en cuenta las condiciones limitantes asociadas a los altos valores de pH edáfico (alta sodicidad) presentes en el área donde fueron establecidos los cultivos. El uso del sistema de riego por pivote central constituye una importante alternativa para compensar el déficit hídrico ambiental producido por la estacionalidad y variabilidad climáticas en el desarrollo de cultivos forrajeros con alta producción de biomasa y buena calidad nutricional; estos forrajes pueden ser conservados para complementar la alimentación de los bovinos en épocas del año con déficit de forraje en pastoreo, lo que contribuye a incrementar la sostenibilidad de los sistemas de producción ganaderos en el Caribe seco.



Referencias

- Bernal, J. H., Rincón Castillo, Á., Guevara, E. J., Hernández, R. S., & Mejía Kerguelén, S. (2014). *Sorgo forrajero Corpoica JTT-18*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/11539>
- Bernal, J. H., Trouche, G., Hernández, R. S., Grenier, C., Navas, A., Mejía, S., Castro, E., Criollo, D., & Guevara, J. (2011). *Desarrollo de híbridos de sorgo dulce (Sorghum bicolor (L.) Moench) para la producción de alcohol carburante adaptados a las condiciones ambientales de las zonas del Caribe, valles interandinos y piedemonte llanero. Informe técnico final*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Burbano Erazo, E., Mojica Rodríguez, J. E., Brochero Aldana, G. A., & Mejía Kerguelén, S. L. (2019). *Producción de semilla del pasto Guinea (Megathyrsus maximus, Jacq.) cv. AGROSAVIA Sabanera*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/34490/68127.pdf?sequence=5>
- Escalona Sánchez, A., Gavilanez Buñay, T., Francisco Yépez, A., & Ramírez Guerrero, H. O. (2021). Uso de enmiendas en la producción de maíz para ensilaje con riego orgánico mineral. *Agronomía Costarricense*, 45(1), 177-192. <https://doi.org/10.15517/rac.v45i1.45769>
- Garrido-Rubiano, M. F., Martínez-Medrano, J. C., Martínez-Bautista, H., Granados-Carvajal, R. E., & Rendón-Medel, R. (2017). Pequeños productores de maíz en el Caribe colombiano: estudio de sus atributos y prácticas agrícolas. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 18(1), 7-23. https://doi.org/10.21930/rcta.vol18_num1_art:556
- Gutiérrez-Guzmán, U. N., Ríos-Vega, M. E., Núñez-Hernández, G., Esquivel-Romo, A., Vázquez-Navarro, J. M., & Anaya-Salgado, A. (2022). Producción de maíz forrajero con dos sistemas de riego y tres niveles de la evaporación aplicada. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(publicación especial 28), 263-273. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v13nspe28/2007-0934-remexca-13-spe28-263.pdf>
- Mahecha, L., Gallego, L. A., & Peláez, F. J. (2002). Situación actual de la ganadería de carne en Colombia y alternativas para impulsar su competitividad y sostenibilidad. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 15(2), 213-225. <https://doi.org/10.17533/udea.rccp.323816>
- Mejía Kerguelén, S., Atencio Solano, L., Tapia Coronado, J. J., Barragán Hernández, W., Mojica Rodríguez, J. E., Suárez, E., Martínez, A., Paternina, Y., Ibáñez, K., & Sánchez, L. (2018). *AGROSAVIA Sabanera. Cultivar de pasto Guinea (Megathyrsus maximus): gramínea forrajera de alta producción de forraje, excelente calidad nutricional y abundante producción de semilla*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/34646>



- Mejía Kerguelén, S., Suárez Paternina, E., Martínez Atencia, J., Atencio Solano, L., Sánchez López, D., Pérez García, J. E., Cuadrado Capella, H., Rodríguez Vitola, J. L., Aguayo Ulloa, L., Mayorga Moggollón, O., Martínez Reina, A., Tapia Coronado, J. J., Mestra Vargas, L., Pérez Pazos, J., Garrido Pineda, J., Fernández Niño, J. C., Doria Ramos, M., Paternina Paternina, Y., Ibañez Miranda, K., ... Mancipe Muñoz, E. (2019). *Modelo productivo de carne bovina en la región Caribe colombiana*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/35646/35646.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Mejía-Kerguelén, S. L., Atencio Solano, L., Suárez Paternina, E., Tapia Coronado, J. J., Mejía Luquez, J., Sánchez Rodríguez, L., Mojica, J. E., & Ibañez Miranda, K. (2020). *Características, producción y manejo de la gramínea forrajera tropical Agrosavia Sabanera para pastoreo en la región Caribe colombiana*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://editorial.agrosavia.co/index.php/publicaciones/catalog/view/136/115/1006-1>
- Mojica-Rodríguez, J. E., & Burbano-Erazo, E. (2020). Effect of two cultivars of *Megathyrus maximus* (Jacq.) on cattle milk production and composition. *Pastos y Forrajes*, 43(3), 156-162. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-03942020000300177&script=sci_abstract&tlng=en
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), & Agencia de Desarrollo Rural (ADR). (2019). *Plan integral de desarrollo agropecuario y rural con enfoque territorial. Departamento del Cesar* (tomo II). <https://www.adr.gov.co/wp-content/uploads/2021/07/CESAR-TOMO-II.pdf>
- Tapasco, J., Martínez, J., Calderón, S., Romero, G., Ordóñez, D. A., Álvarez, A., Sánchez-Aragón, L., & Ludeña, C. (2015). *Impactos económicos del cambio climático en Colombia: sector ganadero*. Banco Interamericano de Desarrollo. <https://doi.org/10.18235/0000131>
- Tapia-Coronado, J. J., Atencio-Solano, L. M., Mejía-Kerguelén, S. L., Paternina-Paternina, Y., & Cadena-Torres, J. (2019). Evaluación del potencial productivo de nuevas gramíneas forrajeras para las sabanas secas del caribe en Colombia. *Agronomía Costarricense*, 43(2), 45-60. <http://dx.doi.org/10.15517/rac.v43i2.37943>
- Torregroza, L., Reza, S., Suárez, E., Espinosa, M., Cuadrado, H., Pastrana, I., Mejía, S., Jiménez, N., & Abuabara, Y. (2015). Producción de carne en pasturas irrigadas y fertilizadas de *Brachiaria* híbrido cv. Mulato II en el valle del Sinú. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 16(1), 131-138. <https://revistacta.agrosavia.co/index.php/revista/article/view/391/308>
- Vives, R. E. (2012). *Suplementación estratégica y mejoramiento de la alimentación de bovinos en época de verano. Hacienda La Nena, municipio de Fundación Magdalena* [tesis de grado, Corporación Universitaria Lasallista].



Capítulo IV.

Eficiencia hídrica y productividad en dos sistemas silvopastoriles del Caribe seco colombiano

Milton Rivera Rojas, José Edwin Mojica Rodríguez, Guillermo Antonio Garay Oyola, Carina Cecilia Cordero Cordero y Claudia Maricel Ipaz Cuastumal



Introducción

En el departamento del Cesar, la ganadería es una de las actividades económicas más importantes. Según el censo pecuario nacional del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA, 2023), se reportan para este departamento 1.682.861 cabezas de ganado bovino en un área de pastoreo de aproximadamente 1.062.415 hectáreas, que representan el 47 % del territorio. Sin embargo, de ese universo de hectáreas, tan solo 218.926 (10 %) son suelos aptos para la ganadería (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] & Agencia de Desarrollo Rural [ADR], 2019).

Transformar la ganadería en términos productivos, económicos y medioambientales es uno de los grandes retos que enfrenta la región. La magnitud del área dedicada a este sector productivo hace de esta actividad parte fundamental del proceso de cambio hacia sistemas sostenibles, que contribuyan a la conservación del gran patrimonio natural, la generación de alimentos, la creación de riqueza, el bienestar social y la lucha contra el cambio climático.

Aunque a la ganadería se le atribuye en buena medida la transformación de las áreas boscosas, igualmente se reconoce que en el paisaje ganadero existe un potencial para la conservación (Harvey et al., 2011). En las pasturas coexisten árboles distribuidos de forma dispersa o agrupada, provenientes de la regeneración natural o remanentes de la vegetación original (Villanueva et al., 2006), que son conservados intencionalmente por los productores para la provisión de bienes y servicios como sombra, forraje, madera y leña, entre otros. Al mismo tiempo, los árboles juegan un papel importante en la protección y conservación de la biodiversidad, pues proporcionan hábitats, alimentos y sitios de anidación para animales y aves, con lo cual mejoran, al mismo tiempo, la conectividad del paisaje; igualmente, contribuyen con la resiliencia y la provisión de servicios ecosistémicos como el almacenamiento de carbono, la regulación hídrica, el ciclaje de nutrientes en el suelo y la mitigación de la erosión, entre otros (Harvey et al., 2011).



Los efectos del cambio y la variabilidad climáticos han exacerbado aún más los problemas que la agricultura tradicional nos venía presentando. En consecuencia, cada vez contamos con una menor área de aprovechamiento por la degradación de los suelos, una mayor exposición al ataque de plagas y enfermedades en monocultivos y menores ingresos económicos por los altos costos de producción. Una respuesta sostenible a esos problemas es la agroforestería, y, para el caso de la región, específicamente los sistemas silvopastoriles tienen la capacidad de desarrollar armónicamente el componente arbóreo (árboles o arbustos), de pastos y de animales en interacción con el suelo. Estos sistemas constituyen, desde el punto de vista productivo, ecológico, económico y social, una de las modalidades más prometedoras de los sistemas agroforestales.

En este capítulo presentamos de forma resumida las contribuciones, en términos de regulación hídrica, que brindan los árboles establecidos en áreas de pastoreo, así como los resultados de la evaluación productiva de los sistemas silvopastoriles y su productividad a partir de la implementación de un sistema de riego durante la época de sequía.

Caracterización climática del área de estudio

El C. I. Motilonia se encuentra ubicado en la ecorregión del Valle del Río César, inmerso en la gran región del Caribe seco colombiano, acentuado en las estribaciones de la Serranía del Perijá, en la zona de vida de bosque seco tropical. Su clima se caracteriza por una temperatura media anual de 29 °C y una distribución de la precipitación en dos periodos bien definidos, con picos máximos de lluvias en los meses de mayo y octubre (figura 4.1). La temporada seca se caracteriza por un déficit hídrico acentuado entre los meses de diciembre y marzo, cuando coincide con la ocurrencia de los vientos alisios.

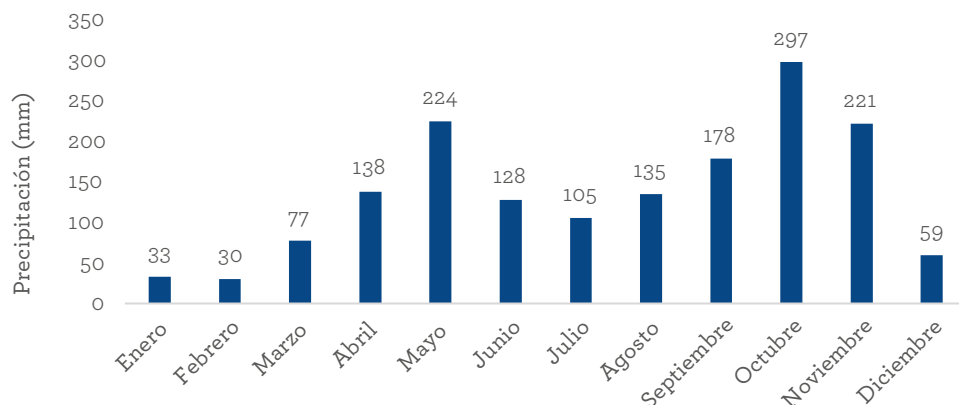


Figura 4.1. Promedio mensual de la precipitación en el C. I. Motilonia para el periodo 1980-2019.

Fuente: Elaboración propia

Caracterización de los sistemas silvopastoriles

En cada uno de los sistemas silvopastoriles evaluados, se realizó la caracterización del componente arbóreo, la cual conllevó la toma de registros de variables dasométricas que permitieron describir la estructura vertical y horizontal de cada sistema.

- **Altura total (HT)** de los árboles: esta medida (variable) corresponde a la longitud, expresada en metros, desde la base del árbol hasta la parte superior de la copa. Para su registro, se utilizó un hipsómetro, instrumento de medición forestal.
- **Diámetro a la altura del pecho (DAP):** esta medida corresponde al diámetro del fuste del árbol a 1,3 metros de altura sobre el nivel del suelo. En la biometría forestal, se conoce como diámetro normal o DAP, y se registra para estimar el volumen de madera contenido en el tronco del árbol. Para su medida, se utiliza la cinta diamétrica.
- **Diámetro de copa (DC):** es una medida que se registra para conocer la extensión de la copa del árbol, expresada en metros. Permite estimar el área del suelo (cubierta por la gramínea) que es influenciada por la sombra que genera la copa del árbol. Se toman dos medidas de diámetros: en sentido norte-sur y oriente-occidente, los



cuales se denominarán D1 y D2, respectivamente (figura 4.2). A partir de estas mediciones, se estima la cobertura de copa de cada árbol, y la sumatoria de todos los individuos por unidad de área da como resultado la cobertura que presenta el sistema silvopastoril.

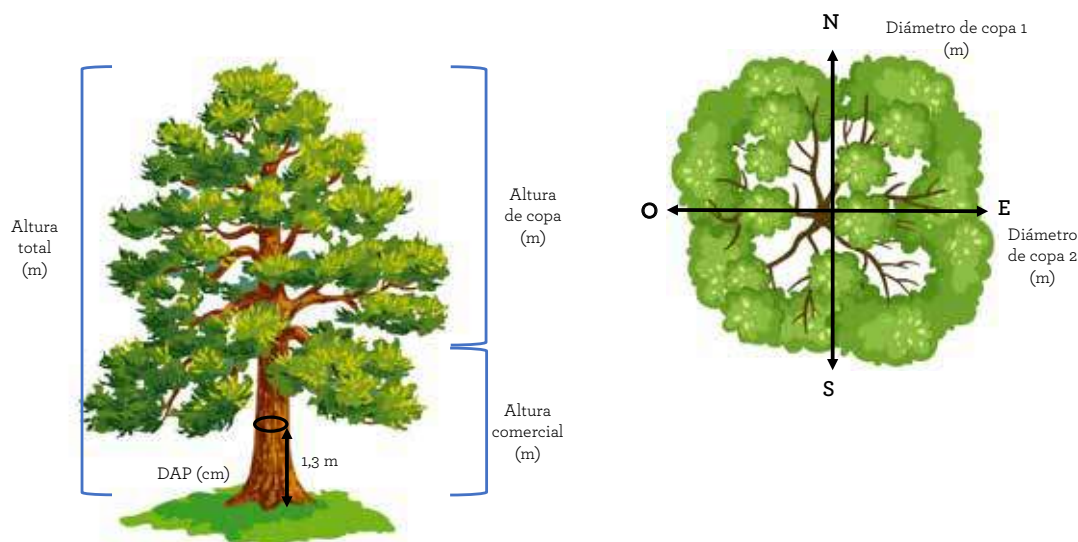


Figura 4.2. Variables dasométricas registradas en los árboles.

Fuente: Elaboración propia

Una vez registrada la información dasométrica de las especies en campo en los formatos previamente diseñados, se digitaron los datos en el *software* Microsoft Excel. Se organizaron teniendo en cuenta la especie, la HT, el DAP y el DC. Después, se realizó un análisis estadístico descriptivo para determinar las principales características del componente arbóreo de cada sistema.

Caracterización arbórea del sistema silvopastoril ordenado (SSPO)

Se denomina “sistema silvopastoril ordenado” debido a que su estructura horizontal (distribución espacial) y vertical fue diseñada ordenadamente para garantizar la producción del sistema. Tiene como base arbórea el eucalipto (*Eucalyptus tereticornis*), asociado con la leguminosa arbustiva leucaena (*Leucaena leucocephala*) y el pasto Guinea (*Megathyrus maximus*) cv. Tanzania (figura 4.3). Este sistema es una buena alternativa de alimentación para la ganadería de la zona, pues contribuye a mejorar la producción de leche y carne por unidad de área en ganadería bovina de doble



propósito. Adicionalmente, con el establecimiento de la especie arbórea, se contribuye significativamente a la captura de carbono, además de que permite producir madera con potencial uso a nivel de finca.

En el momento del establecimiento del sistema, se sembraron 500 árboles de eucalipto por hectárea, a una distancia de 5×4 metros. Adicionalmente, en cada línea de árboles se plantaron 1.500 plantas de leucaena a una distancia de un metro. Al tercer y quinto año, se realizaron entresacas para garantizar la entrada de luz al sistema y, de esta manera, no limitar la producción de pasto. A la edad de siete años, el SSPO presenta una densidad promedio de 300 a 320 árboles por hectárea, los cuales se han desarrollado hasta alcanzar una altura promedio de 24,3 m, con un diámetro, a los 1,3 m (DAP), de 26,14 cm, y generan en promedio una sombra proyectada en el pasto de $25,5 \text{ m}^2/\text{árbol}$. Finalmente, el suelo donde se estableció este sistema se caracteriza por tener una topografía plana, un pH de 6,8 y una textura arcillo-limosa en su primer horizonte.



Figura 4.3. SSPO en el C. I. Motilonia.

Foto: Milton Rivera Rojas



Caracterización arbórea del sistema silvopastoril con árboles dispersos (SSPAD)

Con el manejo de la regeneración natural —la recuperación de especies arbóreas que se da a partir de lo que queda en el área de la flora que hubo alguna vez (sin que hayan sido sembradas)—, se generan nuevos árboles que brindan todos sus beneficios: producción de madera, frutos y forraje para el ganado, sombra para los animales, captura de carbono, conectividad y refugio de aves y otros animales, regulación hídrica, entre otros tantos (figura 4.4).



Figura 4.4. SSPAD en el C. I. Motilonia.

Foto: Milton Rivera Rojas

En la evaluación del componente arbóreo para un área de 2 ha de este sistema, se encontraron al menos seis especies diferentes de árboles nativos, siendo las especies guacamayo (*Albizia niopoides*) y guácimo (*Guazuma ulmifolia*) las de mayor frecuencia. En total, se registraron 29 árboles, lo que supone un promedio de 14 individuos por hectárea. La altura total es variada, según la especie, alcanzando los 23 m, en el caso del guacamayo. Finalmente, el área de la copa de los árboles que al final genera algún tipo de sombra sobre el pasto es igualmente variable entre las especies,



siendo los árboles de guacamayo y algarrobillo los que abarcan más área en promedio. Las especies registradas con menor frecuencia corresponden a morita (*Maclura tinctoria*), algarrobillo (*Albizia saman*), yarumo (*Cecropia peltata*) y hobo (*Spondias mombin*). Cada una de las variables se presenta en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Caracterización del componente arbóreo del SSPAD en el C. I. Motilonia

Especie	Número de árboles	HT promedio (m)	DAP promedio (cm)	DC promedio (m)	Área de copa promedio (m ²)
Guacamayo	13	23,1	79,3	29,09	730,1
Guácimo	10	10,5	37,5	14,1	183,1
Morita	3	13,1	32,4	17,6	247,4
Algarrobillo	1	17,3	89,5	26,8	566,2
Yarumo	1	15,3	33,3	13,05	133,8
Hobo	1	21,8	70,5	22,6	402,9

Fuente: Elaboración propia

El suelo donde se estableció este sistema se caracteriza por tener una topografía plana, un pH de 6,7 y una textura arcillo-franco-arenosa en su primer horizonte.

Movimiento del agua en un sistema silvopastoril

En este estudio se evaluaron los principales aspectos hidrológicos de las especies forestales nativas e introducidas que hacen parte de los sistemas silvopastoriles valorados. Con el fin de determinar la eficiencia del uso del agua y su importancia en el manejo de los sistemas silvopastoriles, y así contribuir a la sostenibilidad hidrológica, se evaluaron la precipitación abierta o precipitación total, la interceptación de la lluvia por la copa de los árboles, la precipitación interna, el escurrimiento por el tronco y la precipitación efectiva. Previamente, se había definido un modelo conceptual (figura 4.5) que permitió comprender la influencia de los árboles en el movimiento del agua en el sistema silvopastoril.

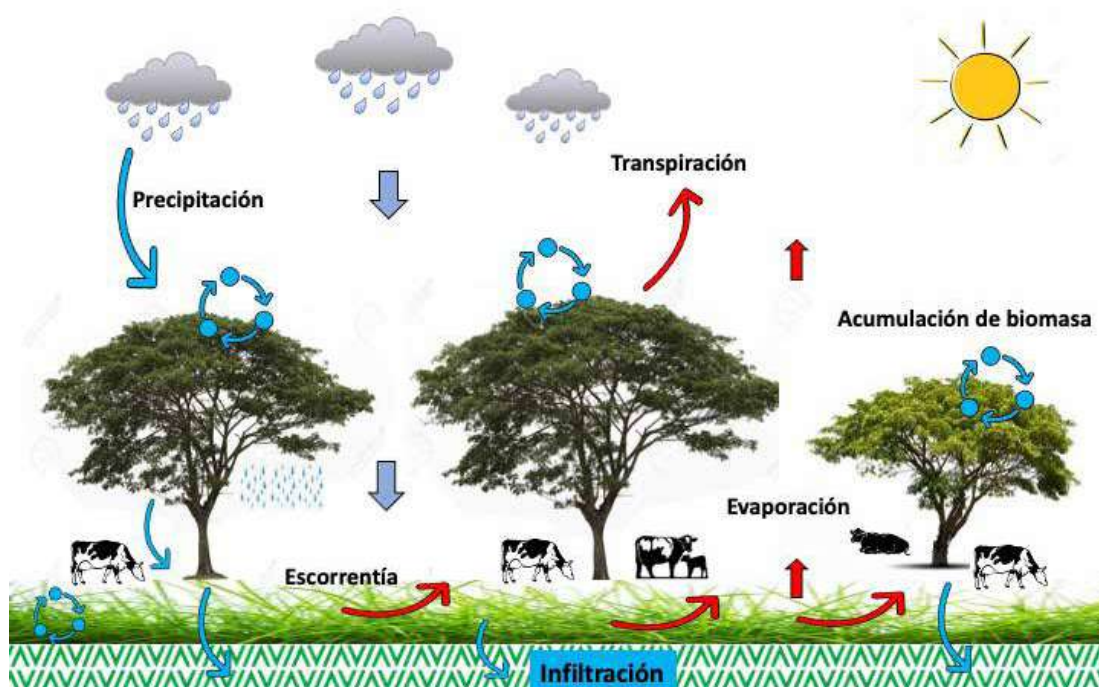


Figura 4.5. Modelo conceptual del movimiento del agua en el sistema silvopastoril.

Fuente: Elaboración propia

Una vez definido el modelo conceptual, se procedió a instalar los diferentes instrumentos de medición, incluyendo diferentes tipos de pluviómetros (automáticos) y recipientes colectores de agua, y se tuvieron en cuenta registros de estaciones meteorológicas. Así, el interés principal fue cuantificar la precipitación captada en la parte interna, es decir, la lluvia que cae al suelo del sistema, compuesta por la lluvia directa y por aquellas gotas de lluvia que son interceptadas por la vegetación y que escurren por la cobertura del dosel. Para ello, se instalaron cuatro pluviómetros lineales por sistema, elaborados con canaletas colectoras de agua (PVC), de acuerdo con la metodología propuesta por Zuluaga Peláez (2014) (figura 4.6).

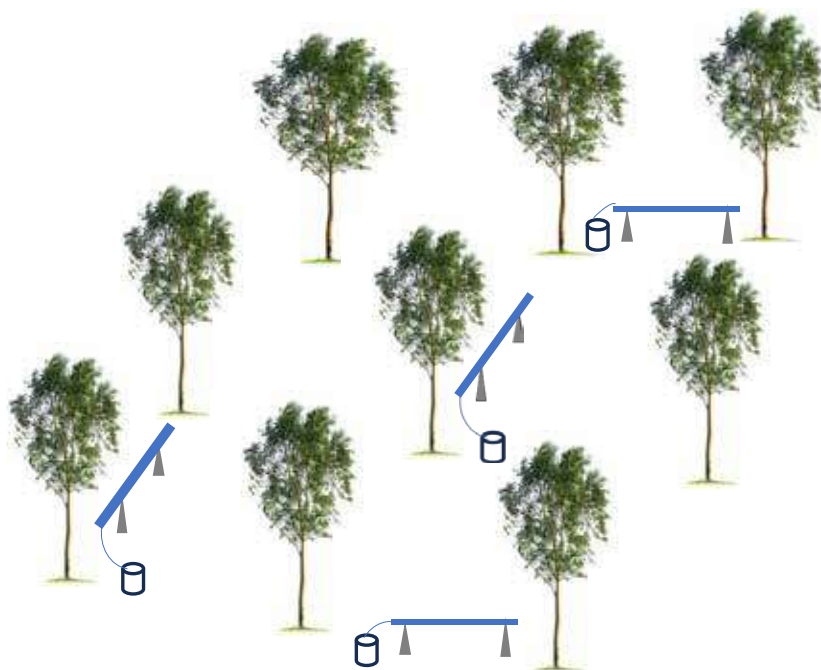


Figura 4.6. Distribución de pluviómetros lineales para cuantificar la precipitación interna en los sistemas silvopastoriles.

Fuente: Elaboración propia

El agua que escurre por el tronco de los árboles fue colectada por medio de dispositivos confeccionados con tanques, bolsas de geomembrana y mangueras plásticas perforadas de una pulgada. Estas últimas se fijaron al tronco en forma de espiral, con la ayuda de espuma de poliuretano y silicona transparente, a 1,3 m del suelo. En la extremidad inferior, la manguera desemboca en el colector, que tiene una capacidad para almacenar hasta 500 litros de agua. Para esta medición, se seleccionaron tres árboles representativos por especie en cada sistema silvopastoril (figura 4.7).



Figura 4.7. Dispositivos colectores de agua escurrida por el tronco de los árboles. a. Colector tipo tanque; b. Colector tipo bolsa de geomembrana.

Fotos: Milton Rivera Rojas

Para la conversión de los valores en mililitros, se utilizó la superficie o área de la copa del árbol, conforme a la siguiente ecuación:

$$ETr = (ET / 1.000) / A$$

Donde:

ETr = escurrimiento por el tronco (mm)

ET = volumen total de agua en los colectores de escurrimiento por el tronco (mL)

A = área de la copa del árbol (m²)

Para determinar la precipitación en abierto, se utilizaron dos pluviómetros digitales, que se instalaron en cada sistema. La lluvia interceptada fue calculada a partir de la diferencia entre la precipitación efectiva (precipitación interna + escurrimiento por el tronco) y la precipitación en abierto, la cual representa el 100 % de la lluvia de cada evento (tabla 4.2).



Tabla 4.2. Características de la precipitación en los sistemas silvopastoriles evaluados

Sistema	Precipitación interna (%)	Escorrimento por el tronco (%)	Precipitación efectiva (%)	Interceptación (%)
SSPO	76,6	3,4	80	20
SSPAD	68,6	1,7	70,3	29,7

Fuente: Elaboración propia

Estimación de la escorrentía superficial

La escorrentía superficial es la precipitación que no se infiltra en ningún momento y llega a la red de drenaje al moverse sobre la superficie del terreno por la acción de la gravedad. Cuando la capacidad de infiltración es inferior a la intensidad de la lluvia, el agua comienza a moverse por la superficie del terreno, formando una lámina de agua que se discurre por la acción de la gravedad, influenciada en mayor o menor medida por la pendiente, las irregularidades del terreno y la cobertura del suelo. Luego, se incorpora a la red de drenajes, donde se junta con los otros componentes para constituir la escorrentía total. En cada sistema evaluado —es decir, la pastura manejada (PM), el SSPO y el SSPAD—, se instalaron tres parcelas de 10 m de largo por 4 m de ancho, siguiendo la pendiente del terreno (figura 4.8). Para los sistemas evaluados, la escorrentía superficial fluctuó entre el 10 % y el 29 %, siendo el arreglo de SSPO el de menor tasa de escorrentía (tabla 4.3).



Figura 4.8. Parcela de escorrentía superficial.

Foto: Milton Rivera Rojas

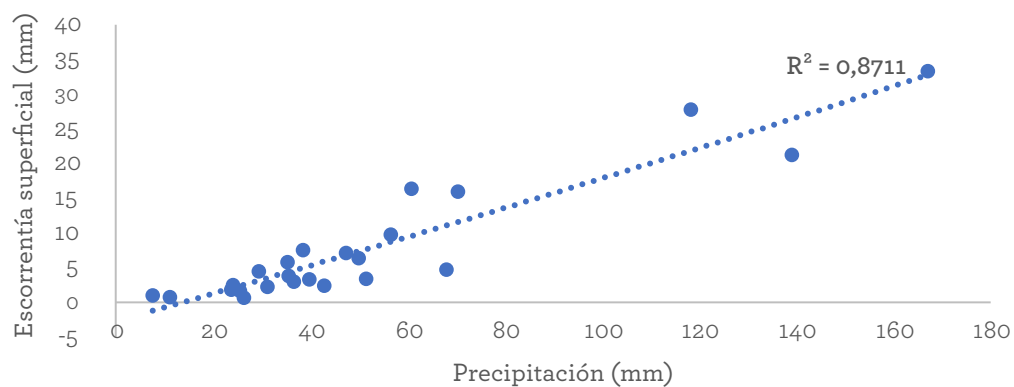
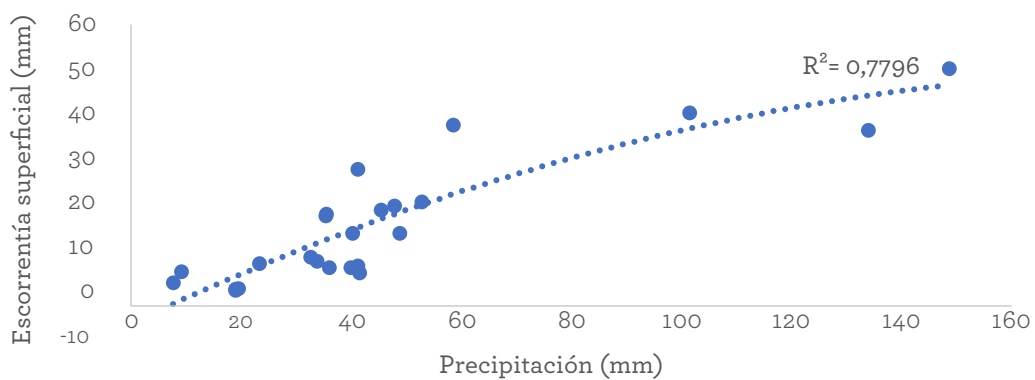
Tabla 4.3. Comportamiento de la escorrentía superficial en los tres sistemas evaluados

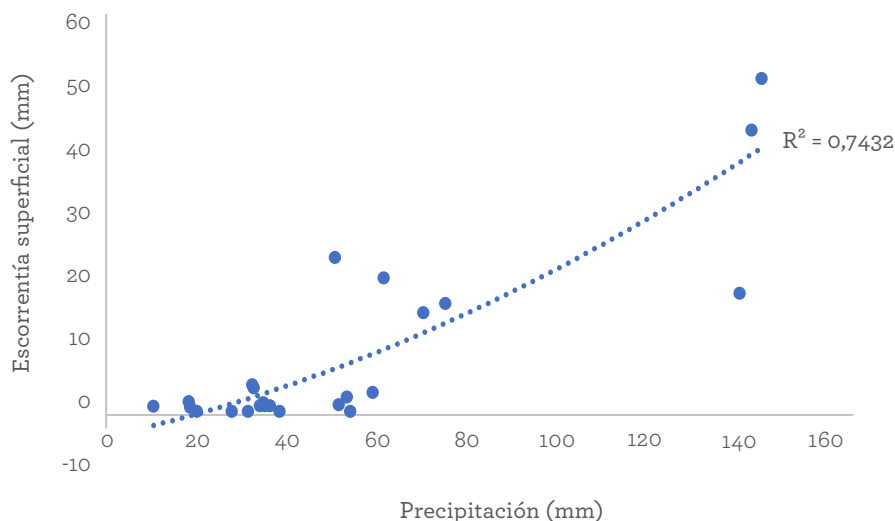
Sistema	Promedio de la escorrentía (%)	Máximo (%)	Mínimo (%)	Coefficiente de variación (%)
PM	29,59	66,31	1,38	93,8
SSPAD	12,75	27,07	2,53	94,9
SSPO	10,89	45,38	0,1	94,5

Fuente: Elaboración propia



Que el coeficiente de variación sea alto (superior al 90%) confirma que el comportamiento de la variable evaluada es muy heterogéneo, lo cual significa que el valor promedio no es representativo. En este sentido, se procedió a realizar una regresión lineal para comprender en mejor medida la relación entre las variables de escorrentía superficial y precipitación, pues sabemos que la cantidad e intensidad de las lluvias, junto con la cobertura del suelo, determinan la escorrentía. Para los sistemas evaluados, la mayor cantidad de eventos que generaron escorrentía se produjo en precipitaciones mayores de 30 mm. Sin embargo, la mayor cantidad de agua que salió del sistema por efecto de la escorrentía superficial fue en la pastura manejada (PM) (figura 4.9). Cuando se presentaron eventos de precipitaciones muy abundantes, por encima de los 120 mm, el desplazamiento del agua por escorrentía superficial fue similar en los tres sistemas evaluados. Esto puede deberse a que aguaceros intensos y de larga duración saturan todos los suelos y finalmente es inevitable que se presente la escorrentía.





c.

Figura 4.9. Comportamiento de la escurrentía superficial según la precipitación en los tres sistemas evaluados. a. PM; b. SSPAD; c. SSPO.

Fuente: Elaboración propia

Efectos de los sistemas silvopastoriles sobre la producción y calidad del forraje, el comportamiento ingestivo y la producción de leche en vacas lactantes

Se desarrollaron diferentes evaluaciones que permitieron observar los efectos de los sistemas de alimentación, las épocas de producción de forrajes y las edades de rebrote; el efecto de los sistemas silvopastoriles en el comportamiento ingestivo y el estrés calórico en los animales, y el efecto de los sistemas sobre la producción de leche en vacas girolando.

Efecto del sistema de alimentación, la época del año y las edades de rebrote sobre la altura y el ancho de la hoja, la producción de forraje y la calidad nutricional del pasto Guinea cv. Tanzania

Se evaluó la alimentación en los dos sistemas silvopastoriles (SSPO y SSPAD), en una asociación de gramínea, leguminosa y árbol maderable, junto con un tratamiento control, denominado pastura manejada (PM), los cuales se describen a continuación.



En el SSPAD, la base alimenticia de los bovinos estaba dada por el pasto Guinea cv. Tanzania (*M. maximus*), establecido años atrás bajo árboles nativos dispersos en el potrero. En el SSPO, así como en el SSPAD, el pasto Guinea cv. Tanzania fue la base alimenticia de los bovinos, el cual conformó el estrato bajo del arreglo silvopastoril. El estrato medio del sistema lo ocupó la leucaena (*Leucaena leucocephala*), en una densidad de 1.500 plantas/ha, establecida con 5 m entre surcos, con distancias de 1 m entre plantas dentro del surco. En el estrato alto se estableció el árbol eucalipto (*E. tereticornis*), con una densidad de 300 árboles/ha, a los 5 años de desarrollo. Finalmente, en la PM solo se tenía establecido el pasto Guinea cv. Tanzania (*M. maximus*) como única fuente de alimentación de los animales.

Cada sistema contó con 2 hectáreas, las cuales fueron divididas, con cerca fija, en ocho potreros de 0,25 ha, para asignar periodos de 4 días de ocupación por 28 de descanso en cada potrero, durante las épocas de máxima y mínima precipitación del año. La carga animal asignada fue de 2 vacas lactantes por hectárea, correspondientes a 2 UUG/ha (1 UUG = 450 kg), para un total de 4 vacas en cada sistema. Se evaluaron el efecto de la altura y el ancho de la hoja, la producción de forraje (total, hojas y tallos) y la relación hoja-tallo en tres edades de rebrote (14, 21 y 28 días) del pasto Guinea durante las dos épocas del año (lluvia y sequía).

Altura del pasto

La altura del pasto Guinea cv. Tanzania (*M. maximus*) (promedio de las edades de rebrote en las dos épocas del año) fue mayor ($p < 0,05$) en los dos sistemas silvopastoriles que en la PM. Respecto a la época, se observó una mayor altura en el pasto Guinea cv. Tanzania en la época de lluvias que en la de sequía, la cual no fue afectada por el tipo de sistema de alimentación. Finalmente, a medida que se avanzó en la edad de rebrote, la altura del pasto aumentó, siendo mayor en las edades de 21 y 28 días ($p < 0,05$) que a los 14 días (figura 4.10).

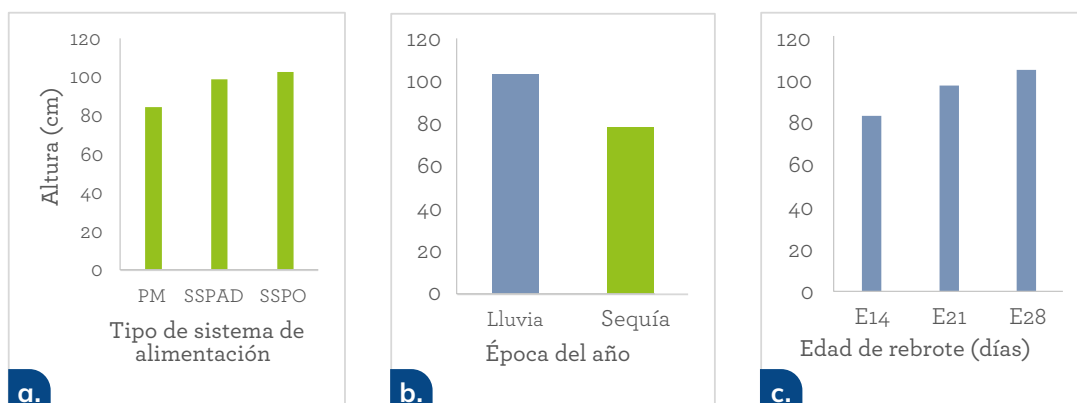


Figura 4.10. Altura del pasto Guinea cv. Tanzania. a. Efecto del tipo de sistema de alimentación; b. Efecto de la época del año; c. Efecto de la edad de rebrote.

Fuente: Elaboración propia

Ancho de la hoja

El pasto Guinea presentó un mayor ($p < 0,05$) ancho de la hoja en el SSPO (3,15 cm), seguido por el SSPAD (2,61 cm), y el menor valor ($p < 0,05$) se observó en la PM (2,24 cm) en época de lluvias. En la época de sequía, el ancho de la hoja presentó un menor ($p < 0,05$) valor respecto a la época de lluvias, pero los valores fueron similares ($p > 0,05$) entre los dos tipos de sistemas silvopastoriles. Respecto a las edades de rebrote, los valores del ancho de la hoja en el pasto Guinea fueron mayores ($p < 0,05$) en la época de lluvias que en la de sequía, época en la cual, a medida que se incrementó la edad de rebrote, aumentó el ancho de la hoja en el pasto (figura 4.11).

Producción de forraje y calidad nutricional

Se evaluó la producción de forraje en el pasto Guinea cv. Tanzania establecido en los tres sistemas (SSPO, SSPAD y PM). La producción de forraje en hojas del pasto fue mayor ($p < 0,05$) en el SSPAD, seguido por el SSPO, y la PM presentó la menor producción ($p < 0,05$). Respecto a los tallos, la producción de forraje en este componente de la planta fue similar ($p > 0,05$) en los dos sistemas silvopastoriles, y mucho mayor ($p < 0,05$) a la presentada en la PM, lo cual influyó en una mayor producción de forraje total (hojas + tallos) en el pasto Guinea establecido en los dos sistemas silvopastoriles. Por su parte, la calidad nutricional de las muestras compuestas (tallo + hojas) de pasto Guinea indicó un mayor ($p < 0,05$) contenido de proteína cruda (PC) en los sistemas silvopastoriles (SSPO: 12,6%; SSPAD: 10,5%) respecto a la PM (7,2%). Los contenidos de fibra detergente



neutra (FDN) y de grasa fueron similares entre los tres sistemas, mientras que el contenido de cenizas (minerales) fue mayor ($p < 0,05$) en la PM (figura 4.12).

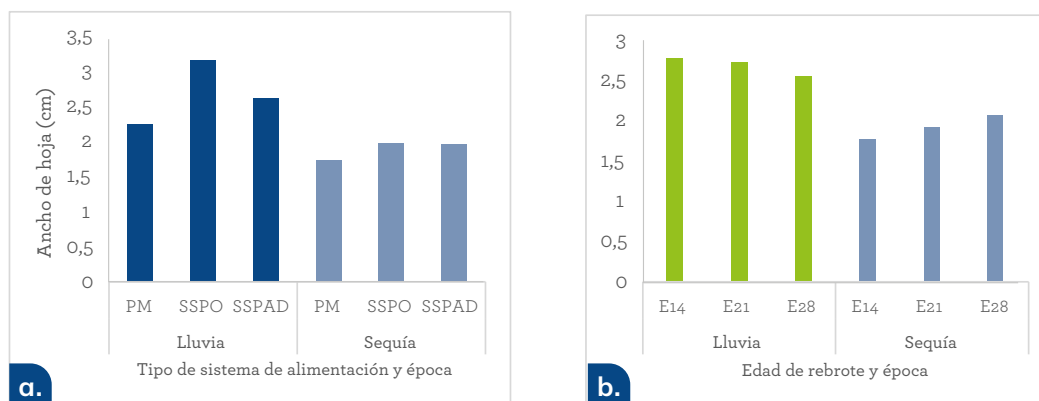


Figura 4.11. Ancho de la hoja del pasto Guinea cv. Tanzania. a. Efecto del tipo de sistema de alimentación en función de la época; b. Efecto de la edad de rebrote en función de la época.

Fuente: Elaboración propia

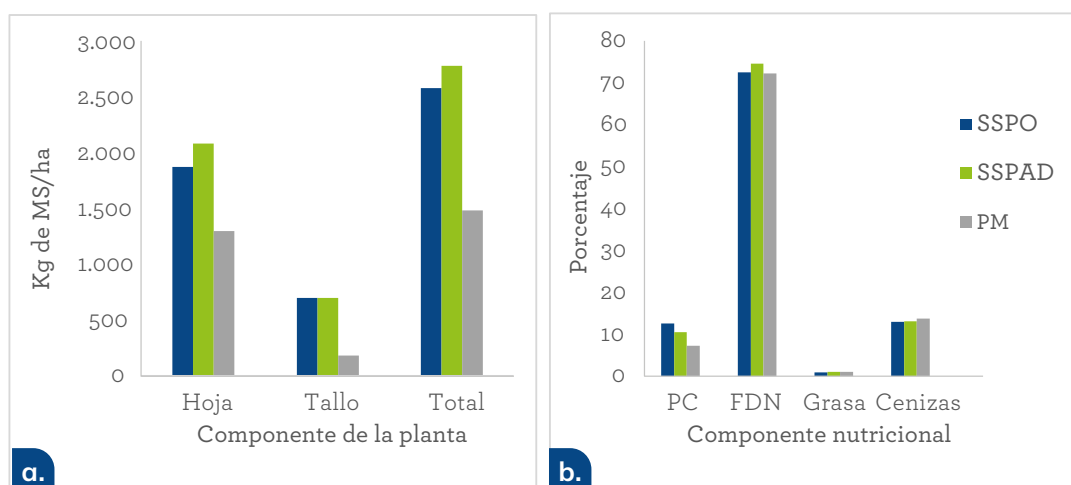


Figura 4.12. Producción de forraje en el pasto Guinea cv. Tanzania establecido en diferentes sistemas de alimentación. a. Por componente de la planta; b. Por calidad nutricional.

Fuente: Elaboración propia



Efecto de los sistemas silvopastoriles sobre el comportamiento ingestivo y el estrés calórico en los animales

En los sistemas arbolados (pastoreo con sombra), el grupo de animales evaluados (vacas girolando) dedicó la mayor parte del tiempo a pastorear en las franjas horarias de 8 a 11 a. m. y 2 a 5 p. m., y en menor medida en la franja horaria de 11 a. m. a 2 p. m. Mientras tanto, en la PM (pastoreo sin sombra), los animales dedicaron un mayor tiempo para el pastoreo en la franja horaria de 2 a 5 p. m., tanto en la época de lluvias como en la seca. En la época de sequía, las vacas dedicaron más tiempo al pastoreo, en cada una de las franjas horarias, en todos los sistemas de alimentación (figura 4.13).

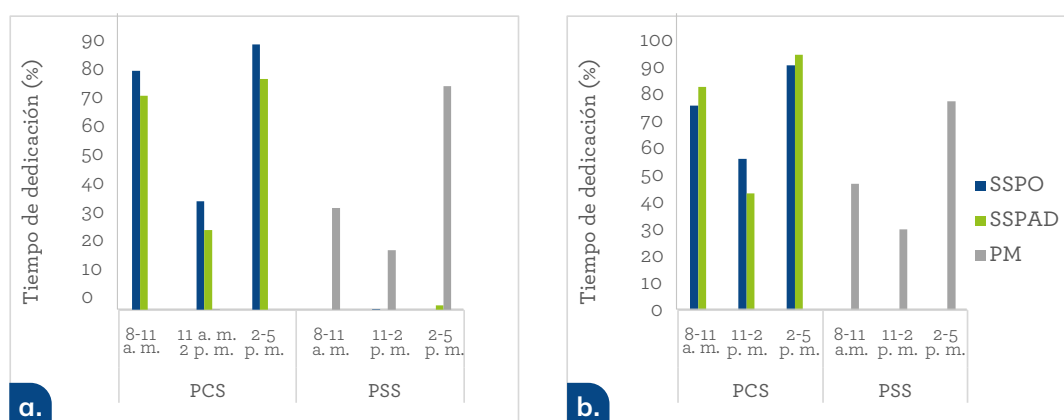


Figura 4.13. Tiempo de dedicación de las vacas girolando al pastoreo con sombra (PCS) y sin sombra (PSS), en cada franja horaria del día, en los diferentes sistemas de alimentación. a. Época de lluvias; b. Época de sequía.

Fuente: Elaboración propia

Otras actividades realizadas por los animales fueron medidas en los diferentes sistemas, como la rumia en pie (RUEP), la rumia echado (RUECH), el descanso echado a la sombra (DESOM), el descanso en pie a la sombra (DPSOM) y el consumo de agua (CA), en época de lluvias (figura 4.14a) y en época de sequía (figuras 4.14b y 4.15).

Los animales dedicaron más tiempo a la RUEP en la PM tanto en época de lluvias como en época seca. Respecto a la RUECH, se observó un mayor tiempo de dedicación a esta actividad en las vacas alimentadas en el SSPAD en época de lluvias (figura 4.14a), mientras que en la época seca esta variable estuvo afectada por la franja horaria del día (interacción tipo de sistema $\times$ franja horaria, $p < 0,05$): el tiempo dedicado



en las franjas horarias de 8 a 11 a.m. y 2 a 5 p.m. fue similar ($p > 0,05$) para los tres sistemas de alimentación, pero el tiempo que los animales dedicaron a este comportamiento en la franja de 11 a.m. a 2 p.m. en el SSPAD fue mayor ($p < 0,05$) respecto al SSPO y la PM (figura 4.15).

El tiempo que dedicaron los animales al DESOM tuvo los mayores valores en los sistemas SSPAD y PM en época de lluvias (figura 4.14a). En época seca, el menor valor ($p < 0,05$) en esta variable se observó en el SSPAD, y el mayor valor ($p < 0,05$), en la PM (figura 4.14b). En la PM, a pesar de que solo contaba con pasto Guinea cv. Tanzania a cielo abierto, se les acondicionó sombra artificial a los potreros para brindarles bienestar a los animales.

Por su parte, el DPSOM fue mayor ($p < 0,05$) en la PM en época de lluvias (figura 4.14a), y en época seca la PM presentó los mayores ($p < 0,05$) valores en las franjas horarias de 8 a 11 a.m. y 11 a.m. a 2 p.m. respecto a los otros sistemas (SSPO y SSPAD), con reducción en los tiempos de dedicación entre las 2 y las 5 p.m., comportamiento similar ($p > 0,05$) al observado en los otros dos sistemas (SSPAD y SSPO) (figura 4.15).

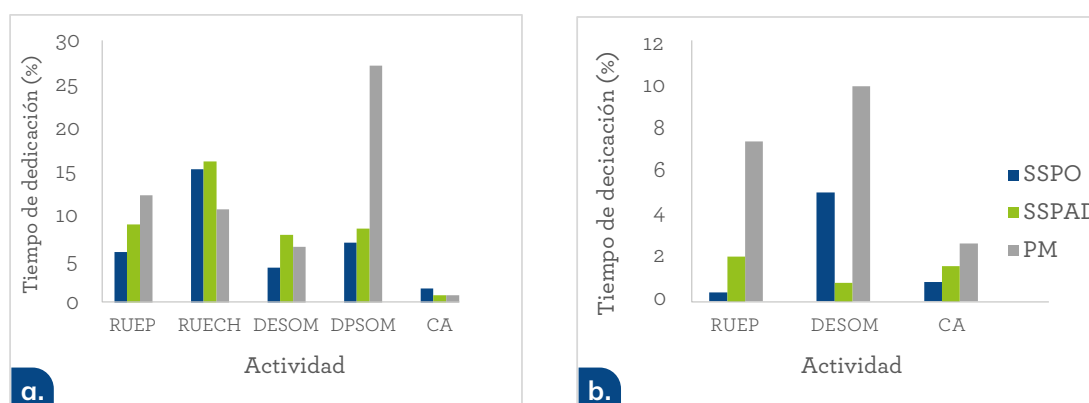


Figura 4.14. Tiempo de dedicación de las vacas girolando a las actividades de rumia, descanso y consumo de agua en los diferentes sistemas de alimentación. a. Época de lluvias; b. Época de sequía.

Fuente: Elaboración propia

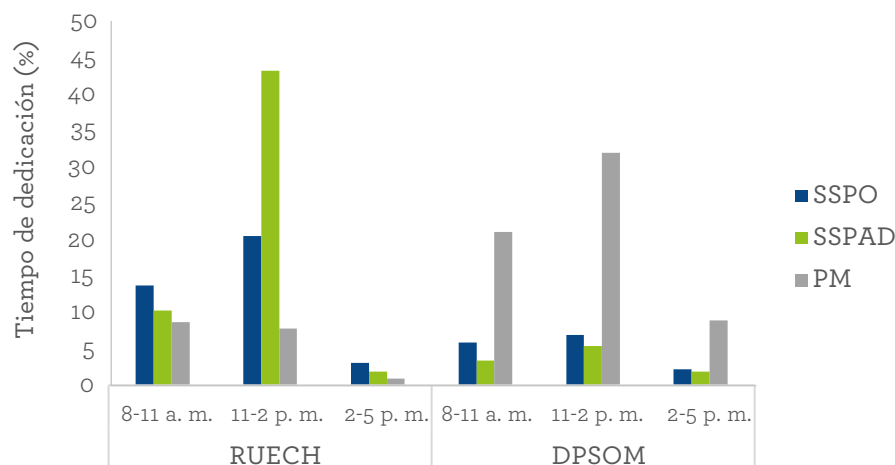


Figura 4.15. Tiempo de dedicación de las vacas girolando a la RUECH y al DPSOM, en cada franja horaria del día, en los diferentes sistemas de alimentación, en época de sequía.

Fuente: Elaboración propia

Con relación a la temperatura corporal de las vacas girolando, en el SSPO se presentaron los menores valores ($p < 0,05$) en esta variable para el cuello, el dorso y el anca en época de lluvias (figura 4.16a). En época seca, solo en la franja horaria de 11 a. m. a 2 p. m. se presentaron las menores ($p < 0,05$) temperaturas en el cuello y el dorso de los animales alimentados en el SSPO; en las demás franjas horarias, para todos los sistemas, las temperaturas corporales en los animales fueron similares ($p > 0,05$) (figura 4.16b).

El comportamiento de los animales en esta evaluación concuerda con los resultados reportados por Barragán Hernández (2013) para la región del Valle del Sinú, en el Caribe colombiano.

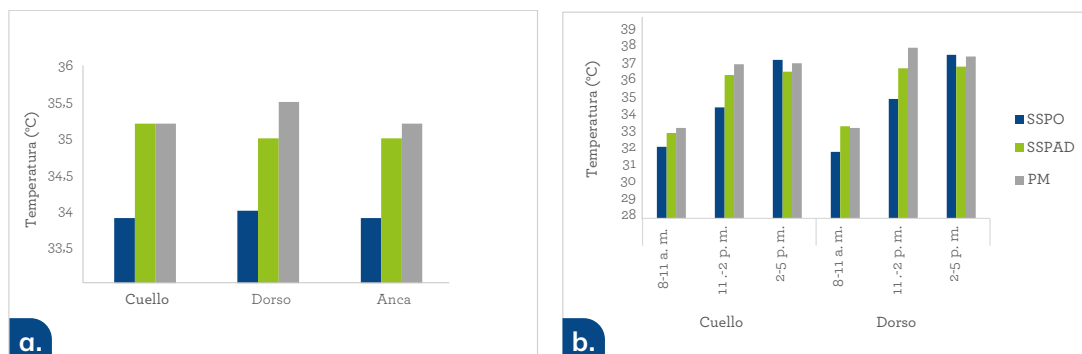


Figura 4.16. Temperatura en cuello, dorso y anca de las vacas girolando, en cada franja horaria del día, en los diferentes sistemas de alimentación. a. Época de lluvias; b. Época de sequía.

Fuente: Elaboración propia

Efecto de los sistemas silvopastoriles sobre la producción de leche en los animales

Se realizaron evaluaciones, en época seca y de lluvia, que fueron complementadas con la producción y calidad nutricional del pasto Guinea cv. Tanzania para conocer el aporte de nutrientes a los animales. La evaluación en época seca, realizada en 2020, abarcó un periodo de evaluación de 28 días (del día 15 al 43 de evaluación), luego de un periodo de adaptación de los animales de 15 días a los diferentes tipos de sistemas. Durante esos 28 días de evaluación, había suficiente forraje en cada uno de los sistemas, y el objetivo fue ir uniformizando cada uno de los potreros con la rotación de los animales para que después de 28 días se iniciara la evaluación de la producción y calidad nutricional del forraje de pasto Guinea en los potreros, y continuar con la medición de la producción de leche, junto con el análisis de su composición nutricional. Sin embargo, por la declaratoria nacional de cuarentena debido a la pandemia del covid-19, la evaluación se suspendió y solo se pudieron obtener los datos preliminares de producción de leche vendible de las vacas.

En ese periodo evaluado en época seca (días en leche: del 40 al 68), la producción de leche vendible de vacas girolando en primer tercio de lactancia demostró, a partir del día 47, una mayor variación entre los diferentes tipos de sistemas. Los sistemas SSPO y SSPAD mostraron numéricamente una mayor producción de leche, la cual fue



diferente ($p < 0,05$) en el día 61 de toda la evaluación, con 6,1 L/vaca/día, en promedio, para las vacas alimentadas en el SSPO, en comparación con los 5 y 4,1 L/vaca/día en el SSPAD y la PM, respectivamente (figura 4.17). Teniendo en cuenta la producción de leche vendible promedio en las vacas para todos los días evaluados, esta variable se incrementó en un 18 % en los animales alimentados en el SSPO respecto a la PM; en un 8,8 % en los animales alimentados en el SSPAD respecto a la PM, y en un 8,5 % en los animales alimentados en el SSPO respecto al SSPAD.

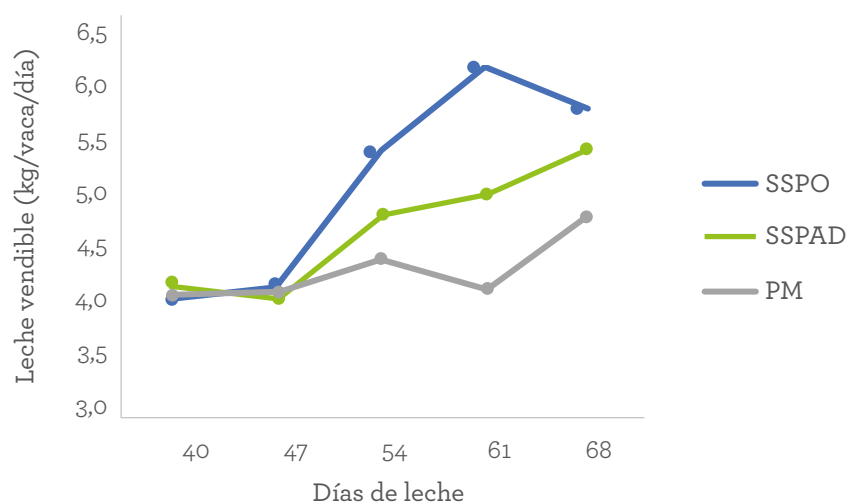


Figura 4.17. Producción de leche vendible en vacas girolando en primer tercio de lactancia, en los diferentes sistemas de alimentación, en época de sequía (2020).

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos en la evaluación productiva de estos sistemas silvopastoriles concuerdan con estudios realizados en la región Caribe en años anteriores, destacándose que los sistemas de pasturas con árboles no afectan negativamente la producción ganadera; por el contrario, potencian la productividad de este sector (Mojica-Rodríguez & Burbano-Erazo, 2020; Tapia-Coronado et al., 2019).



Efectos del riego complementario en la producción primaria neta de pasto Guinea establecido en sistemas silvopastoriles

Teniendo en cuenta que los sistemas silvopastoriles tienen un componente principal de alimentación animal —en este caso el pasto Guinea (*M. maximus*) cv. Tanzania—, para el diseño del sistema de riego se consideraron el manejo agronómico y el diseño hidráulico. Se seleccionaron las áreas y se delimitaron 0,5 ha, para cada uno de los sistemas silvopastoriles, las cuales hacen parte de un minidistrito que irriga aproximadamente 5 ha. Se realizó una caracterización física del suelo y se estimó la evapotranspiración de referencia (ET_o) crítica por el método propuesto por Penman-Monteith, para lo cual se utilizó el programa ET Calculator de la FAO, versión 3.2. Se utilizaron los parámetros de temperatura media, humedad relativa máxima y mínima, velocidad del viento y brillo solar, tomados de la información multianual de la estación meteorológica del Ideam ubicada en el C. I. Motilonia, municipio de Agustín Codazzi, con código 28025070. Se encontró que la ET_o crítica se presenta en el mes de febrero, con 6,6 mm/día. En cuanto a los suelos, la caracterización mostró que la textura es de franco-arenosa a franco-arcillosa. Se consideraron velocidades de infiltración entre 20 y 30 mm/h. Otros parámetros considerados para el diseño del riego fueron el coeficiente del cultivo (K_c), que para el pasto fue de 1; la eficiencia de riego (η), del 75 %, y el área aplicada (A), del 100 %. A partir de esta información, se estimó el uso consuntivo (UC), que fue de 8,72 mm/día, calculado con la siguiente expresión:

$$UC = (ET_o * K_c * \%A) / \eta$$

Parámetros de diseño del sistema de riego

En el SSPO se consideraron 5 líneas laterales: las 3 centrales, con 6 aspersores, y las 2 extremas, con 4 aspersores. Los aspersores tienen una presión de operación de 3 bar, una separación entre aspersores de 17,5 m y entre laterales de 14 m, para un caudal de 2,39 m³/h, un diámetro húmedo de 32,2 m y un caudal total de 273,413 gpm. Se consideró trabajar con cambios de 10 aspersores (una línea lateral externa y una interna). Adicionalmente, se encontró que la tasa de aplicación es de 9,75 mm/h, calculada con la siguiente expresión:



$$Ta = \text{caudal por aspersor (Q)} / [\text{separación entre líneas (Sl)} * \text{separación entre aspersores (Sa)}]$$

Así, el tiempo de riego ($TR = UD / Ta$) fue de 0,9 h/día para cada posición; las tres posiciones que cubren las 0,5 ha se riegan en 2,7 h.

Finalmente, se determinaron las pérdidas por fricción en las tuberías laterales, donde se encuentran ubicados los hidrantes, teniendo en cuenta la velocidad de operación de cada lateral. Las pérdidas por fricción se calcularon con la siguiente expresión:

$$H_f = 0,000977 Q^{1,852} D^{4,874} * L$$

Donde:

Q = caudal de operación (gpm)

D = diámetro interno de la tubería (pulgadas)

L = longitud del tramo (pies)

La mayor pérdida se encontró en el lateral con 6 salidas y correspondió a 3,09 mca (metros de columna de agua), con tubería polietileno (PE) de 55 mm, una velocidad de 2,1 m/s y una longitud de 88 m; estas pérdidas por fricción se tuvieron en cuenta para dimensionar el tamaño de la bomba del minidistrito del cual hace parte esta área de riego.

Siguiendo la misma lógica, se diseñó el sistema de riego del SSPAD. Se consideraron 4 líneas laterales: las 2 centrales, con 7 aspersores, y las 2 extremas, con 5 aspersores, con una separación entre aspersores de 16,7 m y entre laterales de 16,7 m, para un caudal de 2,39 m³/h, un diámetro húmedo de 32,2 m y un caudal total de 252.384 gpm. Con la expresión arriba mencionada, se encontró la tasa de aplicación, que fue de 8,57 mm/h, para un tiempo de riego de 1,017 h/día para cada posición. Las tres posiciones que cubren las 0,5 ha se riegan en 3,051 h.

Se determinaron las pérdidas por fricción en las tuberías laterales, donde se encuentran ubicados los hidrantes, teniendo en cuenta la velocidad de operación de cada lateral. La mayor pérdida se encontró en el lateral con 7 salidas y correspondió a 4,46 mca, con tubería PE de 55 mm, una velocidad de 2,46 m/s y una longitud de 100 m;



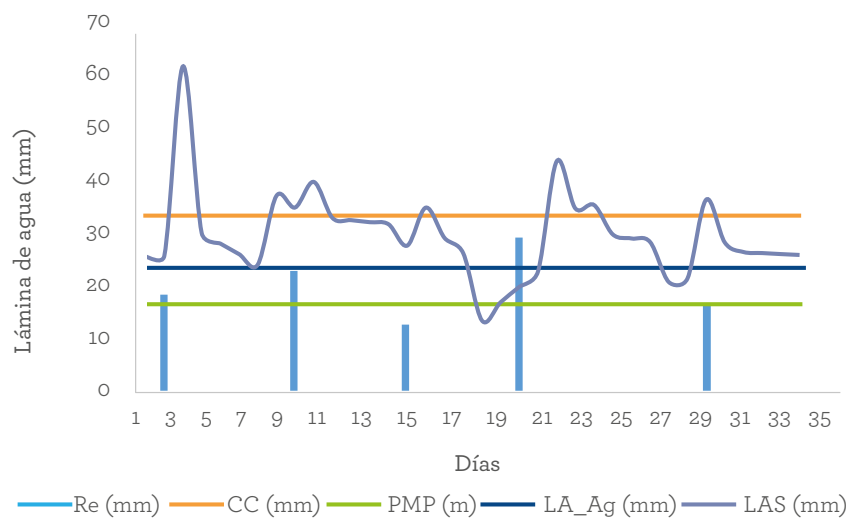
estas pérdidas por fricción se tuvieron en cuenta para dimensionar el tamaño de la bomba del minidistrito del cual hace parte esta área de riego.

Cálculo del balance hídrico

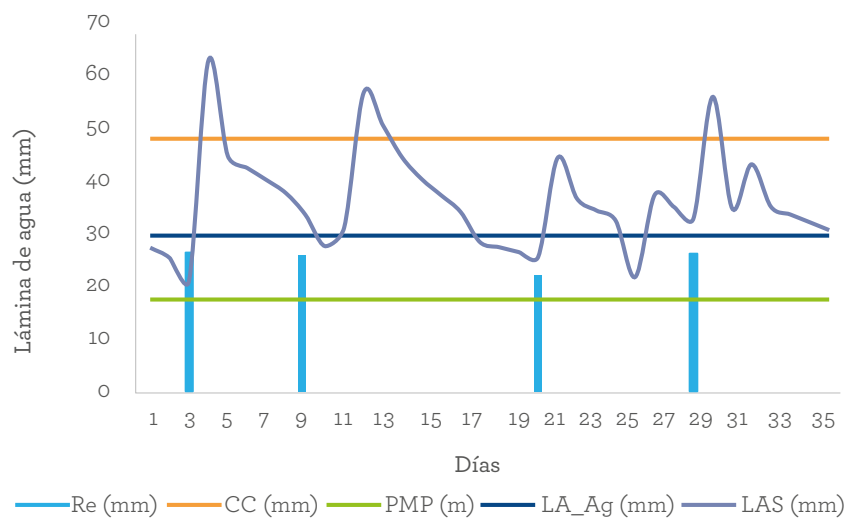
El balance hídrico está determinado por el cambio o el gradiente de humedad del suelo (ΔH) en un periodo, lo cual equivale a la diferencia entre las entradas de agua a un sistema y las pérdidas (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], 2021). Adaptando este concepto a un sistema silvopastoril, se entiende que el diferencial de humedad en el suelo es el resultado de la diferencia entre ganancias y pérdidas en todo el sistema, que involucra las especies de pasto, arbóreas y arbustivas. Teniendo presente que el cultivo principal de los sistemas silvopastoriles es el pasto en potreros rotacionales, se planteó aplicar riego complementario con un sistema por aspersión, buscando mantener la humedad del suelo entre un nivel de agotamiento cercano al 60 % y la humedad a capacidad de campo en época seca, cuando la producción de biomasa es menor. Para realizar el balance hídrico diario de las pasturas como cultivo principal, en los arreglos en SSPO y SSPAD, se estimaron los parámetros de humedad a capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP), densidad aparente (D_a), lámina de agua aprovechable (LAA) y una profundidad efectiva de 0,2 m, en donde se encuentra el 60 % de las raíces efectivas. Una vez la lámina de agua en el suelo se agotó, se repuso llevándola cerca a la lámina de agua correspondiente a capacidad de campo. La evaluación de la humedad del suelo se hizo diariamente, para lo cual se tomaron por triplicado las muestras de suelo, las cuales se secaron a 120 °C por 12 horas. Los tratamientos que se evaluaron fueron sin riego, balance hídrico con riego y balance hídrico con fertirriego.

Para la estimación del requerimiento hídrico en función del diferencial de la humedad del suelo, se realizó un libro de cálculo en Excel en el que se registraron las propiedades hidrofísicas del suelo descritas en el capítulo I, las humedades gravimétricas diarias del suelo, la estimación de la humedad gravimétrica y volumétrica, el cálculo de la lámina de riego o lámina bruta —con una eficiencia del 80 % para el sistema de riego por aspersión—, el aforo del sistema de riego y el tiempo de riego. El aforo del SSPO dio como resultado una lámina promedio de 7,3 mm/h, y para el SSPAD fue de 6,9 mm/h.

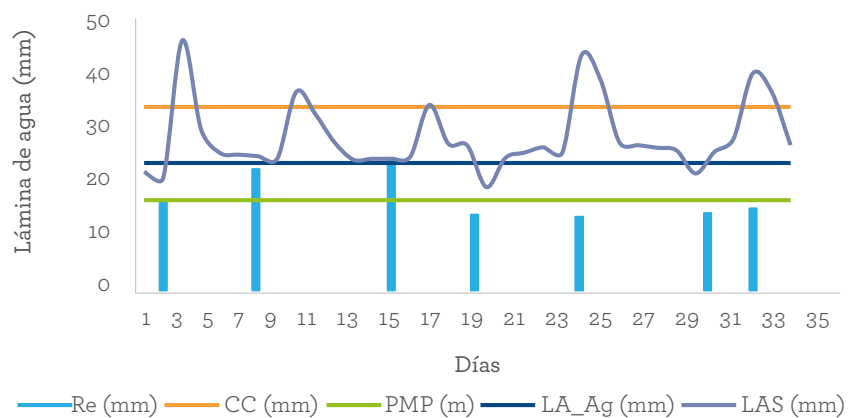
A continuación, se presentan las variaciones de la humedad del suelo durante el periodo de evaluación, comprendido entre el 1.º de febrero y el 7 de marzo de 2023 (figura 4.18).



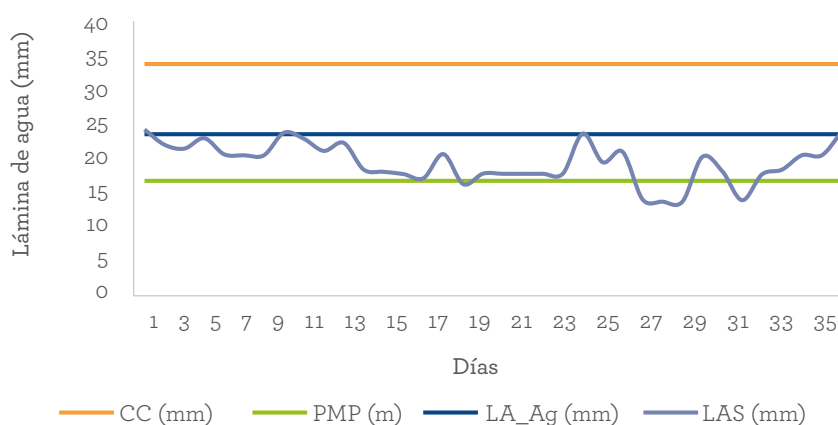
a.



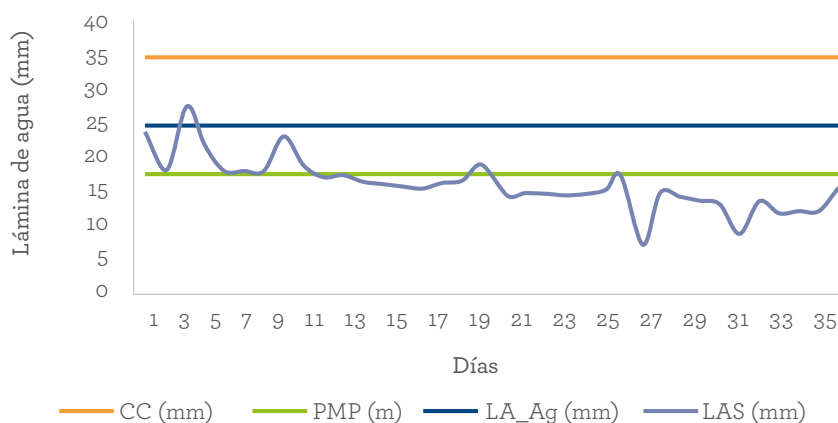
b.



c.



d.



e.

Figura 4.18. Régimen de la humedad del suelo del cultivo de pasto Guinea cv. Tanzania en los sistemas silvopastoriles, con riego, para los diferentes tratamientos evaluados. a. SSPO con balance hídrico; b. SSPAD con balance hídrico; c. SSPO con balance hídrico con fertirriego; d. SSPO convencional; e. SSPAD convencional.

Re: riego efectivo; **LAS:** lámina de agua en el suelo (mm); **cc:** capacidad de campo; **pmp:** punto de marchitez permanente; **LA_Ag:** lámina de agotamiento al 60 %.

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta la dinámica de la humedad del suelo, en cada sistema se fue aplicando riego de acuerdo con la necesidad, lo que dio como resultado un acumulado total para el periodo de evaluación de 35 días (tabla 4.4).



Tabla 4.4. Láminas de agua involucradas en el ciclo del cultivo de pasto Guinea cv. Tanzania en arreglos silvopastoriles con riego

Tratamiento	Re (mm)	Pe (mm)	Re + Pe (mm)	Tiempo de riego (h/ha)
SSPO con riego	101,9	0	101,9	105,1
SSPAD con riego	103,9	0	103,9	104,5
SSPO con fertirriego	123,3	0	123,3	123,1
SSPO convencional	0	0	0	0
SSPAD convencional	0	0	0	0

Re: riego efectivo; Pe: precipitación efectiva

Fuente: Elaboración propia

Producción de forraje a partir de la aplicación de riego

Con la definición del requerimiento hídrico en cada uno de los sistemas, se procedió a la aplicación de la lámina de agua según los cálculos del balance hídrico, generando así la humedad necesaria para el desarrollo del pasto. Se evaluó su crecimiento en un periodo de 35 días, tomando registros de aforos del pasto cada 7 días. Para el SSPAD, se evaluaron seis tratamientos, los cuales consintieron en la aplicación de riego y la influencia de los árboles (tabla 4.5). Esta misma consideración se tuvo en cuenta para el SSPO, en el cual se evaluaron tres tratamientos.

Tabla 4.5. Tratamientos evaluados por sistema silvopastoril

Sistema	Tratamiento	Sigla
SSPAD	Balance hídrico en campo abierto	BHCA
	Balance hídrico en sombra media	BHSM
	Balance hídrico en sombra permanente	BHSP
	Convencional en campo abierto	COCA
	Convencional en sombra media	COSM
	Convencional en sombra permanente	COSP
SSPO	Balance hídrico	BH
	Balance hídrico + fertirriego	BHFR
	Convencional (sin riego)	CO

Fuente: Elaboración propia



Con los registros obtenidos en campo, se realizó un análisis de varianza para determinar las interacciones y el comportamiento de la variable forraje seco total (FS) en cada periodo de evaluación. En el SSPAD, la mayor producción de forraje seco se dio a los 35 días en el tratamiento BHSM, seguido del tratamiento BHSP. Por su parte, los tratamientos convencionales, es decir, sin aplicación de riego, presentaron las menores producciones (figura 4.19).

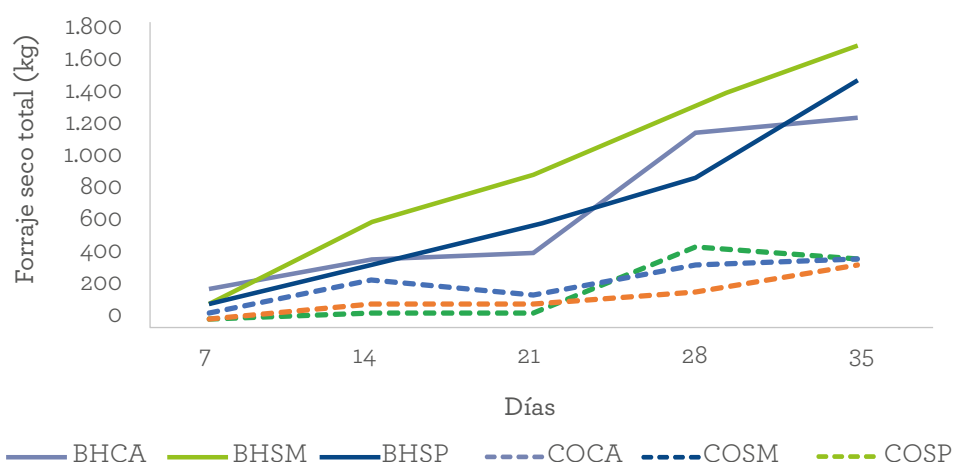


Figura 4.19. Producción de forraje seco a diferentes edades de rebrote en el SSPAD con aplicación de riego.

Fuente: Elaboración propia

En el SSPO, la mayor producción de forraje seco también se dio a los 35 días, en el tratamiento BHFR, seguido del tratamiento BH. Sin embargo, no hubo diferencias significativas entre estos dos tratamientos. Por su parte, el tratamiento convencional, es decir, sin aplicación de riego, presentó la menor producción (figura 4.20).

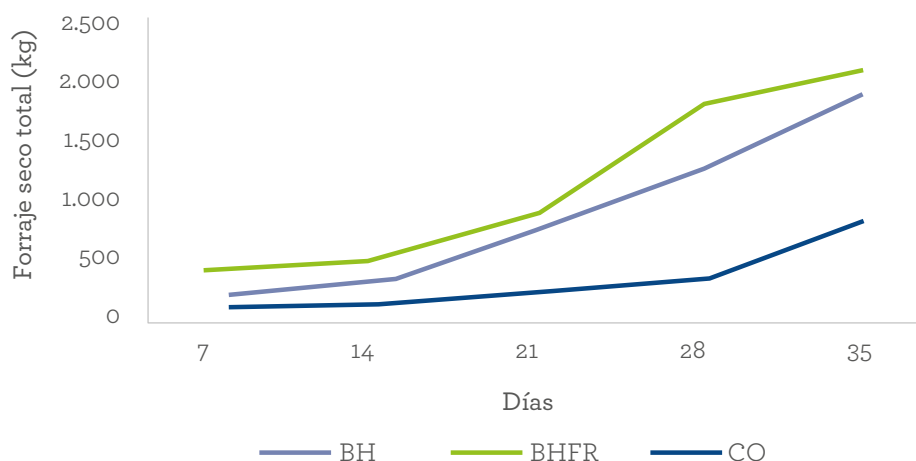


Figura 4.20. Producción de forraje seco a diferentes edades de rebrote en el SSPO con aplicación de riego y fertirriego.

Fuente: Elaboración propia

Es claro que ante la ausencia de riego se presenta una disminución en la producción de materia seca, lo que dificulta la alimentación de los animales en la época de sequía. Al no ser posible sostener la productividad de forraje de la temporada de lluvias, el riego de las pasturas se presenta como una alternativa para el periodo seco, siempre y cuando se haga una evaluación de costos (Quero Carrillo & Enríquez Quiroz, 2013).

Eficiencia hídrica en la producción de forraje

El uso eficiente del agua en el sector agropecuario es uno de los retos fundamentales para garantizar la sostenibilidad alimentaria. La eficiencia hídrica, o eficiencia en el uso del agua (EUA), hace referencia a la relación entre la biomasa de un cultivo y la unidad de agua utilizada en un determinado tiempo. Para la región Caribe colombiana, es un indicador muy importante debido a que, por la ausencia de precipitaciones en al menos cuatro meses del año, permite calcular el valor del agua en la gestión del recurso hídrico.

En este sentido, se calculó la eficiencia hídrica en la producción de forraje de los dos sistemas de pasturas arboladas a partir de la aplicación de riego en la época seca (tabla 4.6). Se encontró que la mejor eficiencia hídrica la presentó el SSPO, con una relación de 1,86 kg de materia seca de forraje por metro cúbico de agua aplicada en



riego. Por su parte, en el SSPAD, la relación fue de 1,61 kg de materia seca de forraje por metro cúbico de agua cuando el pasto se encontraba influenciado por una sombra temporal de los árboles. En este mismo sistema, la producción a plena exposición (CO) fue la de menor eficiencia hídrica, con una producción de 1,2 kg de materia seca de forraje por metro cúbico de agua.

Tabla 4.6. Eficiencia hídrica en la producción de forraje

Sistema	Volumen de agua aplicado (m ³ /ha)	Biomasa seca (kg/ha)	Eficiencia hídrica (kg/m ³)
SSPO + riego	1.019,5	1.900	1,86
SSPO + fertirriego	1.239,3	2.055	1,66
SSPAD_SP + riego	1.038,9	1.469,7	1,41
SSPAD_SM + riego	1.038,9	1.670	1,61
SSPAD_CO + riego	1.038,9	1.242	1,20

SP: sombra permanente; SM: sombra media; CO: convencional (plena exposición)

Fuente: Elaboración propia

Al tomar como referencia la eficiencia hídrica en la producción de una leguminosa forrajera de alta calidad proteica, como la alfalfa (1,18 kg/m³), se encontró que la eficiencia hídrica en la producción de forraje en los sistemas silvopastoriles fue superior (1,61-1,86 kg/m³) (Pedroza Sandoval et al., 2014).

Costos de producción y rentabilidad

Finalmente, se determinaron los costos de producción y la rentabilidad de la producción de forraje con la implementación del SSPO y el SSPAD. A partir del volumen de forraje seco producido en cada sistema, se estimó la productividad de leche en vacas en primer tercio de lactancia para un periodo de cien días, tiempo promedio en que se presenta la época de sequía en la región. Se tuvieron en cuenta los costos de establecimiento y funcionamiento del sistema de riego, y se tomó como base el precio promedio del litro de leche: COP 1.300 (tabla 4.7).

Tabla 4.7. Análisis económico de la productividad de los sistemas silvopastoriles a partir de la producción de forraje con la utilización del sistema de riego

Sistema	Animales/ha	Producción (L/vaca/día)	Producción de leche (L/día/ha)	Producción de leche (L/ciclo/ha)	Ingresos totales en el ciclo (COP)	Gastos por uso del sistema de riego en el ciclo (COP)	Rentabilidad (COP)
SSPO + riego	2,6	7,4	19,24	1.924	2.501.200	743.437	1.757.763
SSPO sin riego	1,1	5,1	5,61	561	729.300	0	729.300
SSPAD + riego	2,1	7,5	15,75	1.575	2.047.500	743.437	1.304.063
SSPAD sin riego	0,5	4,7	2,35	235	305.500	0	305.500

Fuente: Elaboración propia





En el SSPO, al hacer uso del sistema de riego, se obtuvo una rentabilidad, para un periodo de cien días, de COP 1.757.763/ha. Al no aplicar riego, la rentabilidad del sistema fue de tan solo COP 729.300/ha. Para el mismo periodo de tiempo, el SSPAD presentó una rentabilidad de COP 1.304.063/ha cuando se aplicó riego, y de COP 305.500/ha cuando no se aplicó.

Conclusiones

La presencia de árboles en los paisajes ganaderos supone una mejora significativa en la gestión integral del agua. En este estudio quedó demostrado que el componente arbóreo juega un papel relevante en términos hídricos, al reducir la escorrentía superficial, lo que implica un aumento en la infiltración del agua lluvia. Una mayor humedad en el suelo, producto de la inclusión de árboles en los sistemas de pasto Guinea (*M. maximus*) cv. Tanzania, afecta positivamente la producción total de biomasa en comparación con el mismo sistema de pastura en monocultivo. En consecuencia, una mayor disponibilidad de alimento trae consigo una mejora en los indicadores productivos del sistema ganadero, en este caso, la producción y calidad de la leche. Finalmente, los resultados obtenidos en cuanto a rentabilidad ponen de manifiesto que la aplicación de un sistema de riego es viable económicamente para la producción de un sistema silvopastoril con pastoreo de vacas en el primer tercio de lactancia.

Referencias

- Barragán Hernández, W. A. (2013). *Sistemas silvopastoriles para mejorar la producción de leche y disminuir el estrés calórico en la región Caribe colombiana* [tesis de maestría, Universidad de Antioquia]. https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/2365/1/BarraganWilson_2013_SistemasSilvopastorilesMejorarProduccion.pdf
- Harvey, C. A., Villanueva, C., Esquivel, H., Gómez, R., Ibrahim, M., Lopez, M., Martinez, J., Muñoz, D., Restrepo, C., Saénz, J. C., Villacís, J., & Sinclair, F. L. (2011). Conservation value of dispersed tree cover threatened by pasture management. *Forest Ecology and Management*, 261(10), 1.664-1.674. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.11.004>
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2023). *Censo pecuario año 2023*. <https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/epidemiologia-veterinaria/censos-2016/censo-2018>



- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2021). *Balance hídrico y sus aplicaciones* (Código: IN-GAG-PC05-01. Versión 1). https://www.igac.gov.co/sites/igac.gov.co/files/in-gag-pc05-01_balance_hidrico_y_sus_aplicaciones.pdf
- Mojica-Rodríguez, J. E., & Burbano-Erazo, E. (2020). Efecto de dos cultivares de *Megathyrus maximus* (Jacq.) en la producción y composición de la leche bovina. *Pastos y Forrajes*, 43(3), 177-183. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0864-03942020000300177
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), & Agencia de Desarrollo Rural (ADR). (2019). *Plan integral de desarrollo agropecuario y rural con enfoque territorial. Departamento del Cesar* (tomo II). <https://www.adr.gov.co/wp-content/uploads/2021/07/CESAR-TOMO-II.pdf>
- Pedroza Sandoval, A., Ríos Flores, J. L., Torres Moreno, M., Cantú Brito, J. E., Piceno Sagarnaga, C., & Yáñez Chávez, L. G. (2014). Eficiencia del agua de riego en la producción de maíz forrajero (*Zea mays* L.) y alfalfa (*Medicago sativa*): impacto social y económico. *Terra Latinoamericana*, 32(3), 231-239. <https://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v32n3/2395-8030-tl-32-03-00231.pdf>
- Quero Carrillo, A. R., & Enríquez Quiroz, J. F. (2013). *Manejo de pastos y forrajes tropicales*. Fundación Girarz.
- Tapia-Coronado, J. J., Atencio-Solano, L. M., Mejía-Kerguelen, S. L., Paternina-Paternina, Y., & Cadena-Torres, J. (2019). Evaluación del potencial productivo de nuevas gramíneas forrajeras para las sabanas secas del caribe en Colombia. *Agronomía Costarricense*, 43(2), 45-60. <http://dx.doi.org/10.15517/rac.v43i2.37943>
- Villanueva, C., Tobar, D., Ibrahim, M., Casasola, F., Barrantes, J., & Arguedas, R. (2006). Árboles dispersos en potreros en fincas ganaderas del Pacífico Central de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*, (45), 12-20. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/7946>
- Zuluaga Peláez, J. J. (2014). *Hidrologia comparativa em bacias hidrográficas com eucalipto e campo* [tesis de doctorado, Universidade Federal de Santa Maria]. <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/21387>



Capítulo V.

Manejo del agua y suelo, y control de plagas y enfermedades en el cultivo de mango Keitt en las condiciones del Caribe seco colombiano

Luis Fernando Gómez Ramírez, Paola Vanessa Sierra-Baquero,
Deimer Alberto Fuentes Cassiani, Tatiana Sánchez Doria, Claudia
Maricel Ipaz Cuastumal y José Antonio Rubiano Rodríguez



Introducción

El mango es uno de los frutales de mayor importancia económica a nivel mundial, cultivado en cerca de cien países, con una producción de 54.831.104 t, en una superficie cosechada de 5.522.933 ha y con un rendimiento promedio de 9,9 t/ha para 2020 (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2020). En Colombia, este cultivo contribuye a la economía nacional y se encuentra en 16 departamentos, con un área sembrada cercana a 33.885 ha, una producción de 370.507 t y un rendimiento promedio de 10,93 t/ha (Agronet, 2020).

Los departamentos de Colombia que mayor área sembrada de mango tienen son Cundinamarca, con 9.135 ha, una producción de 93.444 t y un rendimiento de 10,23 t/ha, y Tolima, con 5.658 ha, una producción de 48.664 t y un rendimiento de 8,6 t/ha. Sin embargo, a pesar de su alta producción y área sembrada, estos departamentos presentan bajos rendimientos en comparación con la costa Caribe, en los departamentos de Atlántico (14,67 t/ha), Magdalena (14,68 t/ha) y Bolívar (15,16 t/ha) (Agronet, 2020).

En el Caribe colombiano se siembran las variedades Tommy Atkins, Keitt, Azúcar e Hilacha, dirigidas a un mercado principalmente de agroindustria (70 %) y fresco nacional (30 %) (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR], 2019). De esta región, el departamento del Cesar participó en 2019 con el 2,9 % de la producción nacional, con 7.576 t y un rendimiento de 11,4 t/ha, inferior a la media nacional (MADR, 2019). Sin embargo, a pesar de su limitada producción, es un departamento con un gran potencial por la aptitud de sus suelos para la siembra de este cultivo (MADR, 2019; Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA], 2018), lo que a su vez facilitaría su incursión en mercados internacionales; esto, sumado a las condiciones edafoclimáticas y a una adecuada planificación de la floración, le permitiría al departamento suplir la demanda de la fruta en los meses de marzo y abril en mercados como el europeo (Caro Daza, 2019).



En el Cesar se cultivan variedades de mango autóctonas, como el mango Vallenato y el mango Hilacha, las cuales se caracterizan por tener una pulpa muy dulce, una cáscara delgada y una maduración rápida, por lo que no puede pasar mucho tiempo entre la cosecha y su consumo, lo que limita la exportación (Caro Daza, 2019). Por esta razón, se está implementando la siembra de la variedad Keitt, que se caracteriza por ser un fruto con cáscara gruesa, buen sabor, bajo en fibra y maduración lenta, lo cual se adecúa a los requerimientos del mercado internacional para exportación (Caro Daza, 2019).

Sin embargo, en el Cesar, el agua disponible para uso agrícola está disminuyendo, y, sumados a fenómenos extremos, se presentan problemas socioeconómicos que reducen el rendimiento de los cultivos, por lo que es necesario adoptar estrategias de riego que permitan aumentar la eficiencia en el uso del agua (FAO, 2013). De esta forma, es vital conocer los requerimientos del cultivo y la disponibilidad de agua para riego en la región.

Teniendo en cuenta lo descrito anteriormente, este capítulo se enfoca en la optimización del agua, el manejo eficiente del suelo y el manejo integrado de plagas y enfermedades en el cultivo de mango Keitt en el departamento del Cesar, para mejorar la producción en escenarios de vulnerabilidad agroclimática.

Requerimientos edafoclimáticos y preparación de suelos en el cultivo de mango

La región subhúmeda-subárida ecuatorial es óptima para el desarrollo del mango Keitt. Esta variedad requiere de suelos profundos, de clase agroecológica II, III y IV, bien drenados, con pH entre 5,0 y 6,8 y un nivel freático por debajo de 2,5 m; por tanto, los suelos no deben estar cercanos a fuentes de humedad como riveras de ríos o cultivos bajo inundación, y su fertilidad debe ser de moderada a alta (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [Corpoica], & Asociación Hortifrutícola de Colombia [Asohofrucol], 2013; Tavera, 2018).

Para su cultivo, se recomienda una precipitación anual acumulada de 1.500 a 2.000 mm, una temperatura de 24 a 32 °C, una humedad relativa por debajo del 75 % — con el fin de reducir la incidencia de enfermedades— y un brillo solar cercano a 5,79 h/día (Tavera, 2018). La oferta climática de Colombia brinda un gran potencial de



producción del mango Keitt para exportación, ya que se logra alternar las cosechas en las diferentes regiones del país (Tavera, 2018).

La preparación de los suelos para los cultivos de mango está sujeta a las condiciones del relieve que predominan en el terreno; así, en zonas de pendientes u onduladas, solamente se prepara el sitio de siembra con remoción de suelo y el respectivo ahoyado después del trazado; en zonas de planicie (terreno plano), por su parte, se utiliza una preparación general con el cincel y las rastras, para luego realizar el trazado de la plantación y su respectivo ahoyado. Cabe resaltar que dichas labores están sujetas a las características físicas que pueda tener el suelo en cada terreno (figura 5.1) (Miranda, 2020).



Figura 5.1. Caracterización física del suelo para la generación de un plan de preparación. a. Establecimiento de calicata en el lote; b. Identificación de horizontes del suelo y sus características físicas.

Fotos: Deimer Alberto Fuentes Cassiani



Siembra

Se recomienda adquirir el material vegetal en viveros certificados, donde se realiza la propagación por injerto, utilizando como patrón variedades criollas o regionales con características favorables, como resistencia a la sequía, la salinidad y algunas plagas y enfermedades, según las condiciones edafoclimáticas de la zona; sobre este patrón se injerta la variedad mejorada (Corpoica & Asohofrucol, 2013).

Así como el nivel tecnológico y el diseño de establecimiento, las distancias de siembra varían según las condiciones y el relieve del suelo, aunque podrían ser desde 5×8 m hasta 12×12 m (Pérez et al., 2022). Las dimensiones del ahoyado para el trasplante oscilan entre $0,4 \times 0,4$ m y $0,7 \times 0,7$ m, según el tipo de suelo, para lo cual es importante la incorporación de materia orgánica y una fertilización inicial según el análisis de suelos (figura 5.2) (Corpoica & Asohofrucol, 2013).

Manejo integrado del cultivo de mango

El manejo del cultivo de mango, variedad Keitt, consistió en realizar actividades preventivas y correctivas, como control de arvenses, podas según la etapa fenológica del cultivo, fertilización, irrigación y manejo de plagas y enfermedades.

Control de arvenses

El manejo de arvenses se debe realizar teniendo en cuenta las condiciones climáticas, para evitar la competencia por agua y nutrientes. Sin embargo, se recomienda dejar un *mulch* con arvenses de bajo porte o nobles entre los surcos, con el fin de proteger el suelo del impacto de las gotas de lluvia y disminuir la evaporación del agua del suelo. Según la frecuencia de las lluvias, se puede ir alternando entre control mecánico y manejo químico a base de herbicidas entre calles. También es importante el control en la base de las plantas (plateo) (figura 5.3) (Corpoica & Asohofrucol, 2013).



Figura 5.2. Siembra del cultivo de mango. a. Trazado del lote; b. Plántulas injertadas obtenidas de un vivero certificado; c. Ahoyado; d. Trasplante en campo.

Fotos: Paola Vanessa Sierra-Baquero y José Antonio Rubiano Rodríguez



Figura 5.3. Manejo de arvenses en el cultivo de mango. a. Control mecánico con cortamaleza; b. Control químico con aplicación de herbicida; c. Plateo.

Fotos: Deimer Alberto Fuentes Cassiani

Podas

La poda es una labor importante para el cultivo de mango, especialmente para la variedad Keitt, pues presenta un crecimiento particular de ramas largas y arqueadas, con una copa abierta (Reyes, 2004). La época para realizar las podas varía según la necesidad del cultivo; se realizan para formar árboles más productivos, al mejorar la arquitectura y la calidad de los frutos; para facilitar las labores agrícolas de cosecha y aplicación de agroquímicos; para promover la entrada adecuada de luz y aire, y para reducir la incidencia de limitantes fitosanitarias (figura 5.4) (Corpoica & Asohofrucol, 2013).

Podas de formación

Después del trasplante, se requiere realizar podas de formación, que consisten en eliminar brotes del patrón y evitar el crecimiento apical después de los 0,40-1,0 m de altura, con el fin de que la altura máxima no supere el 60 % de la distancia entre las líneas. Se seleccionan cuatro hojas bien distribuidas, que no salgan del mismo punto; posteriormente, cuando estas hojas se hayan engrosado, se despunta la planta a los 50 cm, estimulando la producción de ramas secundarias. De estas, se seleccionan tres brotes por cada una, y se podan a los 40 o 60 cm nuevamente, para formar una estructura del árbol con 27 ramas, buscando que la copa no se proyecte a más del 45 % de la distancia entre surcos, para evitar que se entrelace con otras plantas (Pérez et al., 2022).



Figura 5.4. Poda en el cultivo de mango. a. Poda en etapa vegetativa; b. Poda de árboles adultos.

Fotos: Paola Vanessa Sierra-Baquero y Deimer Alberto Fuentes Cassiani

Podas de mantenimiento y aclareo

Son las podas que se realizan para estimular la brotación de los árboles y renovar el tejido foliar con el fin de generar un balance entre el crecimiento vegetativo y el productivo. Se recomienda eliminar ramas muy cercanas al suelo, que son una característica muy común de la variedad Keitt. Asimismo, en los primeros años de la etapa vegetativa, se pueden presentar inflorescencias que deben ser eliminadas por medio de podas, para evitar que estas compitan con el crecimiento vegetativo (Corpoica & Asohofrucol, 2013). Las podas de aclareo se hacen para evitar copas densas, que impidan el paso de luz y que generen alta humedad, lo que puede propiciar microclimas favorables para el establecimiento de plagas y enfermedades (Corpoica & Asohofrucol, 2013).



Podas de producción

Cuando el árbol está en producción, se recomienda realizar una poda después de la cosecha (Arce et al., 2019). Dicha poda se basa en despuntes de brotes maduros, eliminando restos de inflorescencias secas o improductivas, así como ramas enfermas, sin sobrepasar el 25 % del total de la copa del árbol, ya que se puede provocar que el siguiente año se presente una fase vegetativa (Corpoica & Asohofrucol, 2013).

Podas sanitarias

Consisten en retirar ramas enfermas que presenten síntomas asociados a problemas fitosanitarios, con el fin de evitar que se incremente la presencia y propagación de enfermedades o artrópodos plaga en los diferentes órganos del árbol; es recomendable realizarlas después de cada cosecha o cuando se observen incrementos en la incidencia de plagas y enfermedades (Miranda, 2020).

Fertilización y nutrición

Es importante suministrarle al árbol los nutrientes necesarios, según sus requerimientos en las diferentes etapas fenológicas. De manera general, en el cultivo de mango la fertilización se realiza según la necesidad fisiológica y la disponibilidad de agua; es decir, si no se tiene riego, se aconseja realizar esta labor en la época de lluvia, con el fin de favorecer la asimilación de nutrientes por parte de las plantas (Corpoica & Asohofrucol, 2013).

Es necesario generar un plan de nutrición a partir del análisis de suelo y foliar, el cual debe hacerse al menos cada dos años. De esta manera se pueden ajustar las necesidades específicas del terreno donde se siembra el cultivo, lo que permite optimizar los recursos, reflejándose en una mayor rentabilidad (Arce et al., 2019). La tabla 5.1 muestra los niveles foliares apropiados en mango, los cuales pueden servir como base para la fertilización.



Tabla 5.1. Contenidos apropiados de minerales en hojas de mango

Elemento	Símbolo	Rango
Nitrógeno	N	1,0-1,5 %
Fósforo	P	0,10-0,25 %
Potasio	K	0,3-1,2 %
Calcio	Ca	2,0-3,5*/3-5%**
Magnesio	Mg	0,2-0,5 %
Sodio	Na	<0,2 %
Cloro	Cl	<0,2 %
Azufre	S	0,15-0,35 ppm
Manganeso	Mn	50-250 ppm
Boro	B	25-100 ppm
Cobre	Cu	10-50 ppm
Hierro	Fe	50-200 ppm
Zinc	Zn	20-50 ppm

* Suelos ácidos

** Suelos básicos

Fuente: Corpoica & Asohofrucol (2013)

Los elementos mayores, como el N, tienen un papel importante en la producción y calidad de los frutos. Sus efectos se manifiestan principalmente en la fase vegetativa y de desarrollo de la planta. Su deficiencia puede provocar reducción en el crecimiento de la planta, la floración y la producción de frutos; el P, por su parte, favorece un adecuado desarrollo radicular y un tallo fuerte, mientras que el K es un elemento muy importante en la fase productiva, ya que mejora la calidad del fruto y ayuda a la planta en condiciones de estrés biótico y abiótico (Jiménez & Mora, 2003). Por otra parte, los elementos menores son vitales para mantener un equilibrio nutricional en las plantas, por lo cual deben ser suministrados en las dosis y momentos adecuados en el cultivo de mango. Los microelementos, como el Mg, el Cu y el Zn, deben ser suministrados una o dos veces al año de manera foliar (Jiménez & Mora, 2003).

La cantidad de fertilizante por aplicar en el cultivo de mango depende de muchos factores, como la edad del cultivo, la densidad de siembra, la variedad, y la disponibilidad y solubilidad de elementos en el suelo para poder compararlos con los requerimientos nutricionales de las plantas. Por esto, es necesario seguir el plan de nutrición diseñado por un ingeniero agrónomo, con base en los análisis de suelo y foliares.



Sistema de riego y uso eficiente del agua

El mango es considerado un cultivo resistente a la sequía, ya que tiene raíces pivotantes profundas y hojas duras con cutículas gruesas y conductos de resina para reducir el marchitamiento prematuro (Tavera, 2018). El requerimiento hídrico del mango varía según la edad y la etapa fenológica; por ejemplo, los árboles pequeños son muy sensibles tanto a la escasez como al exceso de humedad (Corpoica & Asohofrucol, 2013). En producción, el mango necesita del déficit hídrico para estimular la floración, ya sea ocasionado por la época seca o por la suspensión del riego. Después de haber comenzado la formación del fruto, se tiene una fase crítica del ciclo reproductivo en la que el déficit hídrico afecta gravemente la producción, provocando la caída y malformación de la fruta (De Souza et al., 2016). El riego, por tanto, es necesario durante el cuajado, ya que promueve una mayor retención de frutos, que se refleja en una mejor producción, al aumentar el número de frutos, más que su peso.

Es muy importante tener en cuenta que el mango es perenne y los efectos del riego se observan a mediano y largo plazo. Se ha reportado que el árbol de mango requiere en sus etapas iniciales de 832 a 1.040 m³/ha/año (Porras et al., 2020), mientras que árboles de la variedad Keitt en plena producción requieren, en condiciones óptimas de crecimiento, de 10.500 a 11.976 m³/ha/año, en condiciones semiáridas.

Manejo de las principales plagas y enfermedades

El mango, como cualquier otro sistema de cultivo, se ve afectado por diferentes problemas fitosanitarios causados por artrópodos y microorganismos. A nivel mundial, se han reportado más de 400 especies de insectos considerados como plagas en este cultivo (Assis & Rabelo, 2005). La situación fitosanitaria del mango cada día es más compleja, debido a cambios en el manejo del cultivo, la renovación varietal, el aumento de las aplicaciones químicas y el cambio climático (Venkata Rami Reddy et al., 2018).

Aunque en Colombia el número de especies que afectan el cultivo en sus diferentes órganos es reducido, se han registrado algunas, como moscas de las frutas, escamas, hormigas arrieras, trips y pulgones, entre otras (Kondo, 2009).



Plagas

En este apartado se hace una descripción de las plagas, haciendo énfasis en las especies más limitantes y de mayor importancia para el cultivo de mango Keitt, según reportes previos y algunos monitoreos en la zona.

Mosca de la fruta (Diptera: Tephritidae): *Anastrepha* spp.

El principal daño que ocasiona este insecto es cuando la hembra perfora la cáscara de la fruta y oviposita, y una vez las larvas eclosionan, consumen la pulpa. Además, las heridas por oviposición y alimentación se convierten en una vía de entrada para diferentes patógenos que al final terminan descomponiendo la fruta y desvalorizando su precio (Castillo & Arcila, 2022). Entre las principales especies reportadas en el Caribe seco, se destacan *Anastrepha striata*, *Anastrepha obliqua*, *Anastrepha fraterculus* (figura 5.5) y *Ceratitis capitata*.



Figura 5.5. Mosca de la fruta en mango. a. Adultos de *Anastrepha* sp. sobre el fruto; b. Observación al estereoscopio de larva de *Anastrepha* sp.

Fotos: Paola Vanessa Sierra-Baquero

Para su control, se recomienda realizar prácticas que incluyan un manejo integrado mediante el muestreo de frutos, para monitorear la población de los estados inmaduros, y el trampeo, usando trampas tipo McPhail, las cuales se utilizan con una proteína hidrolizada de soya o maíz; se aconseja instalar dentro del cultivo unas cinco trampas por hectárea, localizadas en la parte media de la copa del árbol (Kondo, 2009). Como



práctica cultural, se deben recoger todos los frutos caídos y enterrarlos, y realizar podas de aclareo y renovación a fin de evitar un microclima favorable para el desarrollo de las moscas. También se recomienda la aplicación de diferentes microorganismos entomopatógenos, como *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*; el control por conservación de enemigos naturales, principalmente parasitoides de huevos, larvas y pupas, como *Doryctobracon oophilus*, *Doryctobracon areolatus*, *Doryctobracon zeteki* (Muesebeck), *Acaratoneuromya indica*, *Aganaspis pelleranoi*, entre otros (Martínez et al., 2020), y el uso de cebos tóxicos, con lo cual se regulan las poblaciones de adultos (Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], 2017; Martínez et al., 2020).

Trips (Thysanoptera): *Frankliniella* spp.; *Heliethrips* sp.

Normalmente, las ninfas y los adultos de trips se ubican en el envés de las hojas y causan deterioro por la succión de los fotoasimilados de las plantas, provocando daños de aspecto clorótico en la lámina foliar, arrugamiento y defoliación. Asimismo, en los frutos se presenta decoloración, cuarteamiento, manchas necróticas, anillos blanquecinos y arrugamiento de la corteza, afectando su apariencia (figura 5.6); en inflorescencias causan necrosis y caída de estructuras florales, y en hojas tiernas provocan deformación de la lámina (Martínez et al., 2020).



Figura 5.6. Trips en fruto de mango en etapa inicial.

Foto: Deimer Alberto Fuentes Cassiani



Para su manejo, se recomienda monitorear con trampas pegajosas, preferiblemente azules (Osorio & Cardona, 2003), e implementar otras prácticas como el control de arvenses y una buena preparación del terreno. Por su parte, el uso de enemigos naturales, como *Chrysoperla* sp. y *Orius* sp., se convierte en una buena alternativa dentro del manejo integrado (Arias et al., 2007). También se han reportado otros controladores biológicos, como arañas (Theridiidae y Oxyopidae) y las comúnmente denominadas mariquitas (Coccinellidae) (Desfaur et al., 2018). La aplicación de insecticidas como el spinosad y el imidacloprid también ha demostrado ser eficiente en el control de esta plaga en los frutos (Duran et al., 2017).

Escamas (Hemiptera: Diaspididae, Coccidae, Pseudococcidae, Monophlebidae y Ortheziidae)

Las escamas o piojos blancos son insectos que pertenecen al orden Hemiptera, y en el cultivo de mango se han reportado más de 70 especies diferentes alrededor del mundo (Venkata Rami Reddy et al., 2018). En Colombia existen reportadas unas 35 especies que afectan este cultivo, entre las que se destacan *Aulacaspis tubercularis*, *Chrysomphalus* spp., *Philephedra* sp. y *Aonidiella* spp. (Kondo, 2009). Afectan diferentes órganos de la planta, como frutos, ramas y hojas (figura 5.7). Al ser insectos chupadores, se alimentan de la savia, causando manchas amarillas en el follaje, y en los frutos ya desarrollados el ataque se manifiesta en manchas negras, en una maduración prematura y en la disminución de su calidad. Además, estos insectos excretan una sustancia azucarada que favorece el ataque de diversos hongos como la fumagina (Kondo, 2009).

Para el manejo de escamas, si hay infestaciones bajas, se recomienda hacer podas sanitarias de los órganos afectados, y el material infestado debe ser eliminado y retirado del lote. También se recomienda establecer plantaciones con bajas densidades de siembra, para permitir una buena aireación entre los árboles (Iowa State University, 2013). La conservación de enemigos naturales, como parasitoides (*Aphytis* spp., *Encarsia* spp., *Arrhenophagus* sp. y *Anagyrus* sp.) (Del Pino et al., 2021; Salahuddin et al., 2015) y algunos depredadores (*Ceraeochrysa* sp., *Chrysopa* sp., *Chrysoperla* sp., *Azya* sp., *Scymnus* sp., *Cycloneda* sp., *Coleomegilla* sp., entre otros), puede ayudar a reducir las poblaciones de la plaga (Del Pino et al., 2021; Martínez et al., 2020). El uso de insecticidas de síntesis química se sugiere como última opción, con productos sistémicos, principalmente, teniendo en cuenta las recomendaciones de la etiqueta.



Aspersiones de piriproxifeno y dimetoato han demostrado ser efectivas para controlar hasta el 100 % de las escamas (Urías-López et al., 2013).



Figura 5.7. Escamas en hojas de mango Keitt. a. *Crypticerya* sp.; b. *Protopulvinaria pyriformis*.

Fotos: Deimer Alberto Fuentes Cassiani

Hormiga arriera (Hymenoptera: Formicidae): *Atta* spp.

Las hormigas arrieras son insectos sociales considerados como los herbívoros más comunes y polípagos del Neotrópico, y son percibidas como una de las plagas más limitantes para la producción agrícola y forestal en Suramérica. En Colombia, de un total de once especies de hormigas cortadoras de hojas, cuatro corresponden al género *Atta*: *A. cephalotes* (Linnaeus, 1758), *A. colombica* (Guérin-Méneville, 1844), *A. laevigata* (F. Smith, 1858) y *A. sexdens* (Linnaeus, 1758) (Rodríguez et al., 2008). Estas especies y otras del género *Acromyrmex* atacan el cultivo de mango cortando las hojas, llevándolas al interior del hormiguero y produciendo con ellas el hongo *Attamyces bromatificus*, base de su alimentación (Kondo, 2009). La defoliación parcial o total de la planta es el daño característico, y prefieren los brotes jóvenes y las hojas tiernas, con lo que afectan la capacidad fotosintética de las plantas (figura 5.8). Las hormigas arrieras tienen mayor actividad en horas de la noche, y es muy frecuente observar caminos o pistas que recorren con pedacitos de hojas que cargan (Martínez et al., 2020).



Figura 5.8. Hormiga arriera en mango. a. Ataque severo en planta de mango cuatro meses después de su establecimiento en campo; b. Hormiguero cercano a la plantación de mango.

Fotos: Luis Fernando Gómez Ramírez

El control cultural es quizá el método más efectivo para el control de la hormiga arriera, pero puede llegar a ser muy dispendioso. Este consiste en excavar el hormiguero hasta encontrar la reina y destruirla; de este modo, la colonia desaparecerá (Castaño et al., 2019). De igual forma, se pueden utilizar cebos tóxicos con hongos entomopatógenos, como *M. anisopliae* y *B. bassiana*, para su control (Lemus et al., 2008). La mosca Phoridae actúa como enemigo natural, parasitando hormigas adultas cuando salen del nido y colocando sus huevos para que posteriormente, al emerger como larvas, estas consuman los tejidos internos de las hormigas y les causen la muerte (Della Lucia, 2011; Della Lucia et al., 2014). Otro método es la utilización de cultivos trampa como la higuera (*Ricinus communis*), el ajonjolí (*Sesamum indicum*), el fríjol canavalia (*Canavalia ensiformis*) y la batata (*Ipomoea batata*), cuyas hojas son llevadas por las hormigas hasta el hongo, produciendo su intoxicación (Castaño et al., 2019). En el control químico, los compuestos que más se utilizan son los organofosforados, los piretroides y la sulfluramida (Della Lucia et al., 2014; Fernández et al., 2015).

Crisomélidos (Chrysomelidae): *Megalostomis anachoreta* *Euryscopa* spp.

Existen algunos registros de insectos de la familia Chrysomelidae asociados al cultivo de mango, pero realmente no han sido considerados como plaga de importancia



económica. Sin embargo, pueden llegar a ser plagas ocasionales de gran importancia para el cultivo cuando sus poblaciones incrementan de manera significativa. Durante los monitoreos llevados a cabo en el cultivo de mango establecido en el C. I. Motilonia, se destacaron *Euryscopa* sp. y *Megalostomis anachoreta*.

Son pocos los estudios en torno a *M. anachoreta* y *Euryscopa* spp., a pesar de pertenecer a una de las familias de coleópteros más abundantes y diversas que existen en el mundo: la familia Chrysomelidae (Niño Maldonado & Sánchez Reyes, 2017). *M. anachoreta* ha demostrado ser un insecto fitófago muy voraz, capaz de defoliar plantaciones de mango (figura 5.9a), debido a su hábito de alimentarse en grupo y a su rápido vuelo, lo que le permite trasladarse con facilidad de un árbol a otro, teniendo preferencia por los brotes tiernos (figura 5.9b), por lo que se pueden encontrar más de dos individuos por planta (Agrain, 2014; Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA], 2022; Jiménez & Mora, 2003; Roig-Juñent et al., 2007). Para el caso del género *Euryscopa* sp., cuyos especímenes tuvieron alta presencia en el cultivo de mango y causaron daños considerables al consumir hojas jóvenes y cogollos tiernos (figura 5.9c), existen varios reportes que lo asocian como un defoliador en diferentes cultivos (Rubio, 1968; Sánchez, 2016), incluyendo el mango (Castillo & Arcila, 2022).

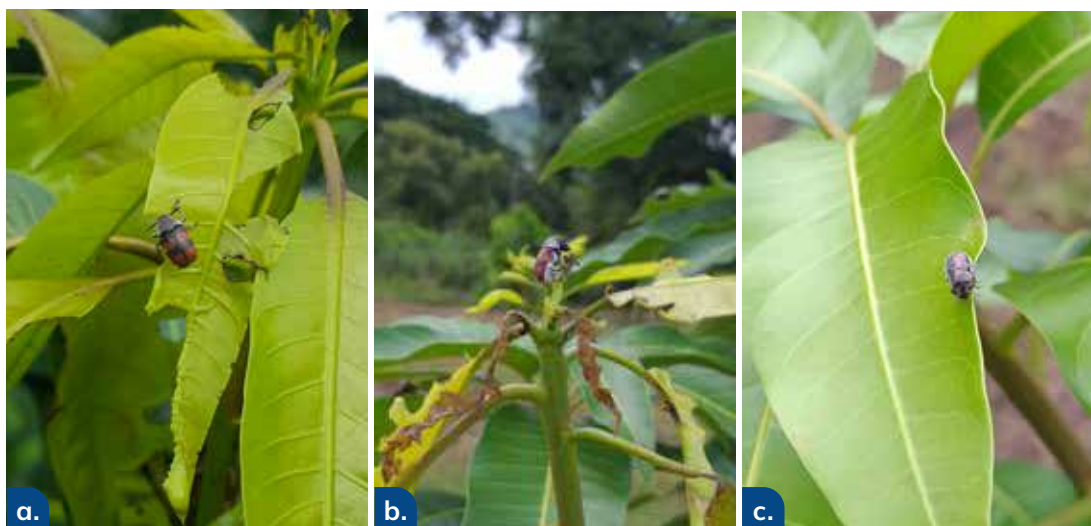


Figura 5.9. Daños de crisomélidos en mango. a. *M. anachoreta* consumiendo hojas; b. *M. anachoreta* consumiendo brotes jóvenes; c. *Euryscopa* sp. consumiendo hojas.

Fotos: Deimer Alberto Fuentes Cassiani



Dada la poca información y los pocos estudios relacionados con la presencia, daño y manejo de estos insectos en el cultivo de mango, es sumamente importante seguir investigando más detalladamente aspectos relevantes de estas especies. Como recomendación, estas dos plagas requieren ser monitoreadas frecuentemente para prevenir daños severos. El control químico ha resultado ser una alternativa de control eficaz, con productos a base de tiametoxam + lambdacihalotrina y spinetoram.

Enfermedades

Las principales enfermedades identificadas para el cultivo de mango Keitt se describen a continuación, así como las acciones implementadas para su control; estas hacen parte de los resultados de los monitoreos realizados en la zona.

Antracnosis (*Colletotrichum* sp.)

La antracnosis del mango, causada por *Colletotrichum* spp., es una enfermedad caracterizada por provocar daños en los órganos productores, como las inflorescencias, llegando incluso a generar un alto porcentaje de aborto de estas. Asimismo, produce lesiones en hojas (figura 5.10), así como en frutos en formación y en aquellos que ya poseen un tamaño comercial, al deteriorar la pulpa, con lo que generan pérdidas hasta del 70 % de la cosecha, especialmente en variedades muy susceptibles y en condiciones de alta humedad (Miranda, 2020).

Teniendo en cuenta la fácil diseminación de la enfermedad y la rusticidad del patógeno para sobrevivir en las diferentes estructuras de la planta (inflorescencias, hojas, frutos) que sirven como fuente de inóculo (Da Cruz Batista et al., 2015), existen algunas prácticas culturales que pueden ayudar a combatir la enfermedad, como hacer que la producción se dé en la época seca, mediante la inducción floral por estrés hídrico; podar las ramas enfermas e inflorescencias secas, y eliminar tanto los frutos enfermos como todos aquellos residuos que resulten de las podas y limpiezas (Castillo & Arcila, 2022). Actualmente, la aplicación programada de fungicidas durante la precosecha, la etapa de prefloración y el llenado de frutos resulta ser eficiente para el control de la enfermedad (Corpoica & Asohofrucol, 2013). Se recomienda el uso de fungicidas protectantes, como el oxiclورو de cobre o el ditiocarbamato. De los productos sistémicos, se recomienda el uso de carbendazim y benomyl (Osorio et al., 2012).



Figura 5.10. Antracnosis en hojas de mango. a. Síntomas tempranos; b. Lesiones en estado avanzado.

Fotos: Deimer Alberto Fuentes Cassiani

Secamiento o muerte descendente (*Lasiodiplodia* sp.)

Entre los síntomas iniciales, se presenta, en el ápice de la rama nueva, una lesión oscura y seca que avanza de la corteza al leño, acompañada, en algunas ocasiones, por exudaciones de goma de color café en las yemas. Posteriormente, las hojas llegan a secarse y quedan sujetas a las ramas afectadas. Cuando a las ramas infectadas no se les realiza un manejo adecuado y se dejan en el árbol, la enfermedad puede avanzar de forma descendente, dejando toda el área afectada necrosada (figura 5.11) (Castillo & Arcila, 2022).



Figura 5.11. Muerte descendente en un árbol de mango en el C. I. Motilonia. a. Síntomas iniciales; b. Conidias de *Lasiodiplodia* sp. obtenidas a partir de tejido foliar y ramas.

Fotos: Luis Fernando Gómez Ramírez

Para el manejo de esta enfermedad, se recomienda realizar podas fitosanitarias, proteger el tejido con pasta cúprica y fungicida sistémico (como el fosetil aluminio), desinfectar las herramientas de poda (con hipoclorito o yodo agrícola) y mantener las plantas en buenas condiciones, de acuerdo con sus requerimientos nutricionales e hídricos, para evitar el estrés. En caso de que la enfermedad esté muy avanzada, se debe eliminar las plantas enfermas o muertas (Da Cruz Batista et al., 2015).

Cosecha

De manera general, en el mango existen índices de maduración del fruto que se pueden tener en cuenta para la cosecha, pero que pueden variar según el cultivar. Entre estos índices encontramos la forma del fruto, el color de la cáscara, el color interno de la pulpa, el contenido de almidón, los contenidos de sólidos solubles o azúcares, la disminución de la firmeza de la pulpa, el aumento de aromas volátiles, entre otros (Corpoica & Asohofrucol, 2013). En cultivos comerciales, se sugiere utilizar variedades tanto de producción tardía como precoz, con el objetivo de apuntar a diferentes mercados y tener cosechas más estables en el tiempo. Adicionalmente, es importante establecer materiales criollos en los bordes del cultivo, con el fin de mejorar la



productividad al favorecer la polinización, gracias a la capacidad que tienen estos árboles para producir inflorescencias de manera abundante (Bernal & Díaz, 2009).

La variedad Keitt tiene un fruto grande, que mide cerca de 15 cm y pesa hasta 1,5 kg; su forma es ovalada, con pulpa jugosa y sin fibra; tiene una coloración amarillo-verdosa combinada con un rosado claro, y en su cáscara se observan numerosas lenticelas pequeñas de color amarillo a rojo. Es considerada una variedad tardía, debido a que según las condiciones puede tardar hasta cuatro meses de floración a cosecha (Jiménez & Mora, 2003).

Existen diferentes factores que pueden influir levemente en el peso del fruto; por ejemplo, el cese de riego en suelos franco-arenosos cuatro semanas antes de la cosecha puede reducir el peso del fruto entre 22 y 27 g, en comparación con el fruto de los árboles irrigados hasta una o dos semanas antes de la cosecha. Por su parte, la cosecha de los frutos de mango Keitt no se debe pasar del tiempo adecuado, ya que la semilla comienza a germinar dentro del fruto (Federación Colombiana de Productores de Mango [Fedemango], s.f.).

En el país, la época de producción de mango está dada, en gran medida, en función de los pisos térmicos; por ejemplo, en la región Caribe se reporta principalmente en los meses de abril a junio; posteriormente, el mango entra en una etapa vegetativa hasta el mes de noviembre; desde diciembre hasta enero, presenta floración, y el llenado de fruto se da en los meses de febrero a marzo (Corpoica & Asohofrucol, 2013). Sin embargo, se recomienda realizar un seguimiento específico en cada predio, debido a que estas etapas fenológicas pueden variar según la variedad y las condiciones edafoclimáticas; es vital determinar esto para realizar una proyección adecuada de la producción y, a su vez, enfocar el mercado objetivo (figura 5.12).



Figura 5.12. Cosecha de mango Keitt en el C. I. Motilonia. a. Frutos en proceso de maduración; b. Labor de cosecha en canastas; c. Fruto cosechado y pesaje.

Fotos: Jorge Abril y Luis Fernando Gómez Ramírez

Experiencia AGROSAVIA: establecimiento y manejo de parcelas experimentales de mango Keitt en el Caribe seco colombiano, haciendo uso efectivo del agua

Con el fin de buscar estrategias para la optimización del recurso hídrico y el manejo eficiente del suelo, y generar una vitrina tecnológica en el manejo integrado del cultivo de mango en las condiciones del Caribe seco colombiano, se establecieron parcelas experimentales en el C. I. Motilonia de AGROSAVIA (Agustín Codazzi, Cesar) con la variedad Keitt, siendo este uno de los productos de mayor demanda en el comercio nacional y con alta proyección al mercado internacional. El cultivo se estableció en dos parcelas experimentales: la primera fue sembrada en agosto de 2017, en 0,3 ha, con un sistema de siembra rectangular de 5 × 8 m de distancia, para proporcionar una densidad poblacional de 250 plantas/ha (lote 3A6) (figura 5.13a). La segunda parcela se trasplantó en junio de 2020 con el mismo arreglo e igual distanciamiento, en un área de 0,5 ha (lote 4A1) (figura 5.13b).

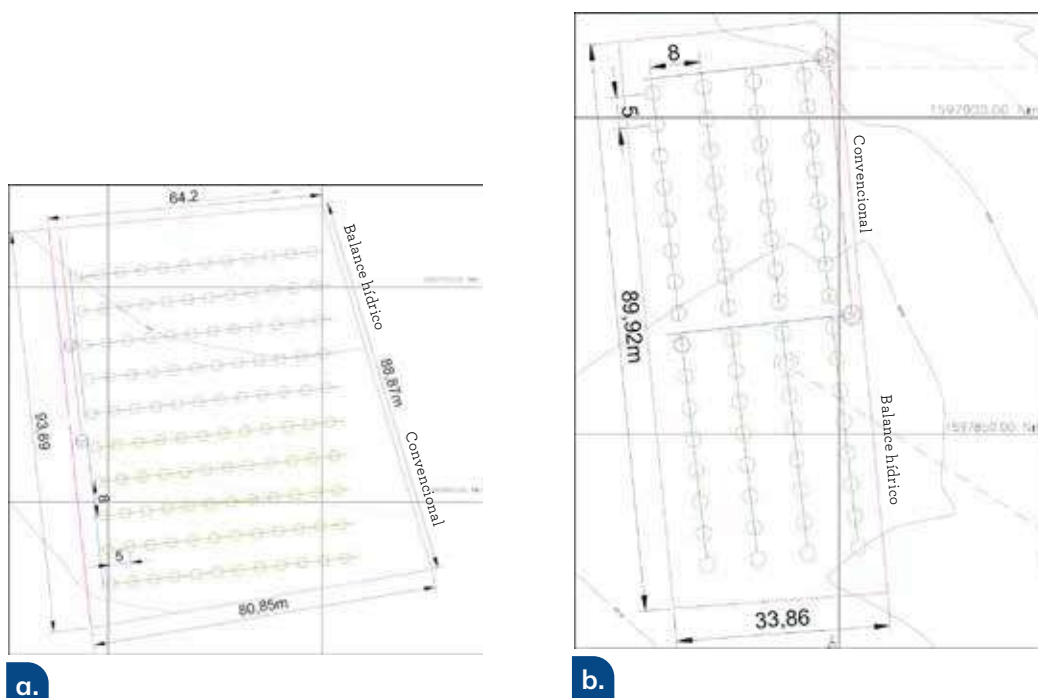


Figura 5.13. Plano de los lotes de mango Keitt en campo. a. Distribución de árboles y tratamientos (convencional y BH) en el lote 4A1; b. Distribución de árboles y tratamientos en el lote 3A6.

Fuente: Elaboración propia

Las evaluaciones se hicieron bajo un diseño de bloques completos al azar con arreglo en franjas (BCA-F). En cada parcela se realizó la evaluación de dos tratamientos experimentales en función del riego: uno, basado en el manejo convencional del riego por goteo, de acuerdo con los volúmenes aplicados por los pequeños y medianos productores en el Cesar, y el otro, basado en la aplicación de riego por goteo según un balance hídrico (BH) (tabla 5.2; figura 5.13), en el que se tuvo en cuenta información de los requerimientos hídricos de las plantas según su estado fisiológico, el seguimiento de la humedad gravimétrica en el suelo (manejando un porcentaje de agotamiento del 60 % entre capacidad de campo y punto de marchitez permanente) y las condiciones climáticas, depositando la cantidad de agua necesaria para regar el área equivalente a la cobertura del árbol; esta área fue estimada a partir de imágenes tomadas con un dron con cámara multiespectral. Para el riego del cultivo, se usó un sistema por goteo con goteros autocompensados con un caudal de 4,2 L/h, dispuestos en líneas de goteo en “cola de marrano”, usando diez goteros por árbol. Detalles del funcionamiento del sistema de riego se encuentran en el capítulo VI.



Tabla 5.2. Tratamientos de riego implementados en mango Keitt

Tratamiento	Riego
T1	Riego convencional
T2	Riego basado en balance hídrico (BH)

Fuente: Elaboración propia

Durante el desarrollo de los cultivos, se efectuaron labores de manejo convencionales, como manejo integrado de plagas y enfermedades, diferentes tipos de podas, plateo y control manual, químico y mecánico de arvenses, dependiendo de las condiciones climáticas y el crecimiento de estas. En cuanto a la fertilización, inicialmente se implementó una fertilización en *drench*, dirigida a la zona de plateo. Las fertilizaciones se hicieron de manera fraccionada, aplicando 3 L/árbol cada 45 días, con una mezcla de cloruro de potasio (KCl) y sulfato de amonio (SAM), de acuerdo con el plan nutricional generado según los análisis de suelos y los requerimientos del cultivo. Una vez establecidos el minidistrito de riego (marzo de 2022), el sistema de riego por goteo y el sistema de fertirrigación, se inició con las fertilizaciones (fertirriego) siguiendo el mismo plan nutricional y utilizando fertilizantes de alta solubilidad (figura 5.14; tabla 5.3).



Figura 5.14. Fertilización a través del sistema de riego por goteo en el cultivo de mango.

Foto: Deimer Alberto Fuentes Cassiani

**Tabla 5.3. Plan de fertilización generado de acuerdo con los análisis del suelo y los requerimientos del cultivo**

Fertilizante/ enmienda	Fertilización																
	Año 1					Año 2					Año 3*						
	Siembra	Meses después de la siembra (MDS)															
		3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	51	54	57	60
Materia orgánica (kg/árbol)	2																
Fertilizante edáfico compuesto (8 % N, 5 % P ₂ O ₅ , 18 % Ca, 6 % Mg, 1,6 % S, 1 % B, 0,14 % Cu, 0,005 % Mo, 2,5 % Zn) (g/árbol)	5																
SAM (fertilirriego) (g/árbol)		326	326	326	720	720	720	720	781	781	781	781	1.400	1.400	1.400	1.400	1.400
KCl (fertilirriego) (g/árbol)		100	100	100	261	261	261	261	156	156	156	156	250	250	250	250	250
Sulfato de Mg (fertilirriego; 16 % de Mg) (g/árbol)		65	65	65	65	65	65	65									
Fertilizante foliar (L/ha)		0,3		0,5		0,5		0,5		0,25		0,25		0,25		0,25	0,25
Fertilizante compuesto soluble para fertilirriego (11 % N, 6 % P ₂ O ₅ , 39 % K, 0,03 % B, 0,02 % Cu, 0,03 % Fe, 0,02 % Mn, 0,03 % Mo) (g/árbol)									312	312	312	312	125	125	125	125	125

* Este mismo plan se aplicó durante el año 4, de forma trimestral (39, 42, 45 y 48 meses después de la siembra).

Fuente: Elaboración propia



El sistema de fertirriego se caracterizó por presentar una bomba *booster* con tres tanques de 250 L para las soluciones de fertilizantes y tres columnas de inyección con inyector tipo *venturi*, y fue operado de manera automática mediante el controlador DREAM2, encargado de programar y ejecutar la aplicación de un volumen de fertilizante por metro cúbico de agua. La preparación de las mezclas de fertilizantes se realizó teniendo en cuenta su solubilidad. Para su aplicación, se definieron y programaron las tasas de inyección (entre 1 y 8 L/m³), de acuerdo con los volúmenes por depositar, siguiendo el plan nutricional.

Resultados obtenidos

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en el experimento, en el cual se evaluó la respuesta de los cultivos a los tratamientos de manejo convencional de aplicación del riego y el tratamiento con BH.

Comparación entre riego convencional y riego con balance hídrico

La evaluación de los dos tratamientos en cuanto a la aplicación de riego inició en marzo de 2022. En el lote 3A6, para este año, se depositó un acumulado de 1.005 L de agua/árbol para el tratamiento convencional, mientras que en el BH no se aplicaron riegos, teniendo en cuenta los requerimientos de las plantas en esa etapa fisiológica y las condiciones climáticas. A partir del mes de agosto, se suspendieron los riegos para los dos tratamientos, con el objetivo de iniciar la preparación para el estrés hídrico y que en la época seca de fin de año se pudieran tener los árboles aptos para la inducción a floración. Posteriormente, entre los meses de enero y marzo de 2023, cuando ya se observó la formación de inflorescencias y el cuajado de frutos, se reactivaron los riegos aplicando un acumulado de 2.660,63 L/árbol en el tratamiento convencional y uno de 5.157,50 L/árbol en el BH (tabla 5.4). Esto se realizó teniendo presente que el agua es uno de los factores primordiales para disminuir el aborto de frutos y mejorar su cuajado, siendo los árboles en esta etapa fisiológica más exigentes en cuanto a requerimiento hídrico.

En el lote 4A1, entre marzo de 2022 y marzo de 2023, se depositó una lámina acumulada de 1.306,49 L/árbol en el tratamiento de BH, mientras que para el tratamiento convencional se aplicaron 3.611,19 L/árbol, observando diferencias en las láminas aplicadas en esta etapa fisiológica y un ahorro en el uso del agua cuando los riegos se manejaron en función del BH (tabla 5.4).



El riego por goteo es una excelente opción para el cultivo de mango Keitt, pues puede aumentar significativamente su rendimiento y mejorar la calidad del cultivo. Además, proporciona agua directamente a las raíces de la planta, lo que maximiza la absorción de nutrientes y reduce la evaporación y pérdida de agua, optimizando el uso de este recurso y mejorando las oportunidades de retorno en la inversión.

Tabla 5.4. Riego aplicado en los tratamientos convencional y BH en los lotes 3A6 y 4A1 de mango Keitt en el C. I. Motilonia

Año	Mes	Riego aplicado (L de agua/árbol)			
		Lote 3A6		Lote 4A1	
		BH	Convencional	BH	Convencional
2022	Marzo	0	0	72,81	134,75
	Abril	0	0	0,88	30,51
	Mayo	0	480,63	69,65	61,02
	Junio	0	0	0	0
	Julio	0	434,38	29,82	152,54
	Agosto	0	0	3,51	142,37
	Septiembre	0	0	38,60	76,27
	Octubre	0	0	0	30,51
	Noviembre	0	0	0	220,68
	Diciembre	0	0	701,05	842,20
Total 2022		0	1.005	916,32	1.690,85
2023	Enero	1.461,88	680	58,07	600,17
	Febrero	1.918,13	1.080,63	239,65	720,17
	Marzo	1.777,50	900	92,46	600
Total 2023		5.157,50	2.660,63	390,18	1.920,34
Total acumulado		5.157,50	3.665,63	1.306,49	3.611,19
Promedio mensual		396,73	281,97	100,50 a	277,78 b
Valor p		0,52599		0,0351	

Nota: Los datos corresponden al riego acumulado mensual por cada tratamiento. Las letras diferentes indican diferencias significativas en el promedio de riego mensual (L/árbol) entre el tratamiento convencional y el BH, según la prueba de comparación múltiple de Tukey ($\alpha = 0,05$). Diseño BCA-F.

Fuente: Elaboración propia



En cuanto a las variables de crecimiento, en el lote 3A6 se observaron mayores valores promedio de altura (4,93 m), diámetro de tallo (158,25 mm), diámetro de copa norte-sur (5,40 m) y diámetro de copa este-oeste (5,62 m) en los árboles con riego convencional, con respecto a los árboles regados según el BH, aunque este incremento solo fue significativo en la variable de altura ($p < 0,05$) (tabla 5.5). Cabe aclarar que variables como la altura y los diámetros de copa pueden ser fuertemente afectadas por las podas que se realizan convencionalmente durante el manejo del cultivo, por lo que no se puede atribuir este incremento directamente al efecto del riego.

Teniendo en cuenta la relevancia de los riegos para el cuajado y llenado de los frutos de mango Keitt, se observó un incremento en el número promedio de frutos por árbol (14,56 %), en el peso total promedio de frutos por árbol (15,54 %) y en el peso promedio por fruto (8,19 %) en los árboles manejados con el BH, en comparación con el tratamiento bajo riego convencional, lo que demuestra la importancia de la aplicación de riego en las cantidades adecuadas y en el momento oportuno, según la etapa fisiológica de las plantas. Es importante aclarar que este incremento no fue significativo a nivel estadístico ($p > 0,05$).

Así pues, el riego es esencial para el crecimiento y desarrollo adecuado del mango Keitt. Cuando el riego es adecuado, las plantas pueden producir frutas de tamaño y calidad apropiados. Si el riego es insuficiente, las frutas pueden ser pequeñas y su sabor puede verse afectado negativamente. Por otro lado, si el riego es excesivo, las raíces pueden pudrirse y la planta puede ser susceptible a enfermedades. Un riego adecuado durante la temporada de crecimiento ayuda a madurar la fruta de manera uniforme y a reducir la incidencia de problemas relacionados con la maduración, como el rajado.


Tabla 5.5. Variables de crecimiento en plantas de mango del lote 3A6 durante el desarrollo del experimento

Variable	Tratamiento (r)	2022					2023		Promedio	Valor p		
		Mes (m)					2023	T		M	T x M	
		Marzo	Mayo	Agosto	Octubre	Diciembre						Febrero
Altura de la planta (m)	Convencional	4,59	4,69	4,8	4,88	5,41	5,21	4,93 a	0,0201	<0,0001	0,9532	
	BH	4,35	4,47	4,6	4,64	5,01	5,16	4,70 b				
Promedio		4,47 b	4,58 b	4,7 b	4,76 ab	5,21 a	5,18 a					
Diámetro del tallo (mm)	Convencional	137,2	144,83	152,59	165	171,12	178,74	158,25	0,3885	<0,0001	0,9969	
	BH	132,56	141,19	151,88	161,94	168,41	169,44	154,24				
Promedio		134,88 c	143,01 bc	152,24 abc	163,47 ab	169,77 a	174,09 a					
Diámetro de la copa norte-sur (m)	Convencional	4,62	4,95	4,8	5,78	5,99	6,25	5,4	0,4862	<0,0001	0,5581	
	BH	4,6	4,86	4,93	6,05	5,72	5,6	5,29				
Promedio		4,61 b	4,91 b	4,86 b	5,92 a	5,86 a	5,93 a					
Diámetro de la copa este-oeste (m)	Convencional	4,74	4,94	5,6	5,66	5,94	6,87	5,62	0,8301	<0,0001	0,4964	
	BH	4,84	4,95	5,68	5,94	5,98	6,16	5,59				
Promedio		4,79 d	4,94 cd	5,64 bc	5,8 ab	5,96 ab	6,51 a					

Nota: Los datos corresponden al promedio de cinco réplicas experimentales (árboles) para el tratamiento convencional y siete réplicas para BH. Las letras diferentes indican diferencias significativas entre los niveles de cada factor (T: tratamiento; M: mes) o su interacción (T x M), según la prueba de comparación múltiple de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Fuente: Elaboración propia



Tabla 5.6. Variables productivas en árboles de mango del lote 3A6 para los dos tratamientos evaluados

Tratamiento	Frutos/árbol	Peso total de los frutos/árbol (kg)	Peso/fruto (kg)
Convencional	48,88	31,58	0,61
BH	56	36,49	0,66
Valor p	0,3950	0,3870	0,5642

Nota: Los datos corresponden al promedio de la cosecha parcial de 32 árboles por cada tratamiento. No se evidenciaron diferencias significativas entre los tratamientos para cada una de las variables según la prueba de comparación múltiple de Tukey ($\alpha=0,05$).

Fuente: Elaboración propia

En cuanto al cultivo de mango en estado de desarrollo (lote 4A1), no se evidenciaron diferencias significativas entre el riego convencional y el riego basado en BH en las diferentes variables evaluadas (tabla 5.7), por lo que se infiere que la diferencia en el riego no afectó directamente estos parámetros de crecimiento; sin embargo, como se evidenció en la tabla 5.4, la reducción en el volumen promedio mensual de agua aplicado por árbol fue del 176,4 % ($p < 0,05$) en el tratamiento bajo BH con respecto al tratamiento convencional, lo que indica un ahorro significativo de agua sin afectar el desarrollo de las plantas.

Con respecto a los tratamientos de riego implementados (BH y convencional), se pudo observar un desarrollo estadísticamente similar en el tiempo en las variables de altura de la planta, diámetro del tallo y diámetro de la copa (norte-sur y este-oeste), lo que nos lleva a inferir que es posible reducir los volúmenes de agua en el cultivo durante la etapa vegetativa sin afectar el desarrollo de los árboles, con lo que se genera un ahorro de este recurso. Sin embargo, en épocas secas hay que tener precaución, ya que esta variedad de mango presenta susceptibilidad a altas temperaturas, observándose hojas y tallos quemados y un mayor grado de apertura de la copa al presentar ramas mucho más arqueadas, por lo que es importante mantener una buena disponibilidad de agua para mitigar el impacto de estas condiciones.

**Tabla 5.7. Variables de crecimiento en plantas de mango del lote 4A1 durante el desarrollo del experimento**

Variable	Tratamiento (T)	2022						2023		Promedio	Valor p		
		Mes (M)									T	M	T x M
		Marzo	Junio	Agosto	Octubre	Diciembre	Febrero						
Altura de la planta (m)	Convencional	2,01	2,19	2,31	2,61	2,88	2,93			2,49	0,968	<0,0001	0,3373
	BH	1,95	2,09	2,45	2,48	2,95	3			2,49			
Promedio		1,98 c	2,14 c	2,38 b	2,55 b	2,92 a	2,97 a						
Diámetro del tallo (mm)	Convencional	44,73	50,78 cde	57,61 bcd	68,62 ab	79,32 a	82,81 a			63,98	0,905	<0,0001	<0,0001
	BH	43,51	50,08 cde	58,88 bc	68,08 ab	77,73 a	83,14 a			63,57			
Promedio		44,12 d	50,43 cd	58,24 c	68,35 b	78,53 a	82,98 a						
Diámetro de la copa norte-sur (m)	Convencional	1,47 d	1,65 de	1,92 cd	2,1 bc	2,76 a	2,5 ab			2,07	0,666	<0,0001	<0,0001
	BH	1,37 d	1,63 de	2,02 cd	2,1 bc	2,83 a	2,78 a			2,12			
Promedio		1,42 c	1,64 c	1,97 b	2,1 b	2,80 a	2,64 a						
Diámetro de la copa este-oeste (m)	Convencional	1,5 ef	1,63 def	1,96 cde	2,31 bc	3,04 a	2,85 ab			2,22	0,724	0	<0,0001
	BH	1,4 f	1,66 def	2,07 cd	2,24 bc	3,11 a	3,07 a			2,26			
Promedio		1,45 d	1,65 d	2,02 c	2,27 b	3,08 a	2,96 a						

Nota: Los datos corresponden al promedio de doce réplicas experimentales (árboles) para cada tratamiento. Las letras diferentes indican diferencias significativas entre los niveles de cada factor (T: tratamiento; M: mes) o su interacción (T × M), según la prueba de comparación múltiple de Tukey ($\alpha=0,05$).

Fuente: Elaboración propia



Plagas y enfermedades en el cultivo

Durante el periodo de evaluación, se realizaron monitoreos semanales de plagas y enfermedades con el fin de generar planes de manejo que permitieran su control oportuno. Las plagas identificadas en el cultivo fueron escamas, crisomélidos (*Euryscopa* sp. y *M. anachoreta*), trips y ácaros (tabla 5.8). En el lote 3A6, las plagas con mayor incidencia fueron los trips y *Euryscopa* sp., con valores promedio del 1,37 % y el 1,23 %, con picos de incidencia en enero de 2023 (15,63 %) y abril de 2022 (14,06 %), respectivamente. En el lote 4A1, las plagas más limitantes fueron *Euryscopa* sp. y *M. anachoreta*, con incidencias promedio del 7,37 % y el 6,68 %, con picos de incidencia en los meses de abril (43,3 %) y junio (16,52 %) de 2022, respectivamente (tabla 5.8). Las mayores incidencias de *Euryscopa* sp. y *M. anachoreta* se presentaron durante la generación de nuevos brotes vegetativos en los árboles, lo cual, a su vez, estuvo relacionado con los periodos de lluvias. Teniendo en cuenta que estos coleópteros no han sido reportados en la zona y no se conoce mucho acerca de su ecología, ciclo de vida y comportamiento, no hay estrategias reportadas para su control. Sin embargo, debido al daño causado en las plantas, fue necesario implementar un manejo químico con tiametoxam + lambdacihalotrina, lo cual redujo su población.

En cuanto a enfermedades o patógenos, se identificó la presencia de antracnosis, *Fusarium* y *Lasiodiplodia* sp., aunque con una baja incidencia promedio (tabla 5.9). Sin embargo, para prevenir su multiplicación, y teniendo en cuenta el impacto que pueden llegar a generar en el cultivo, se realizaron controles químicos con benomyl y azoxystrobin, compuestos activos registrados ante el ICA para el control de estas enfermedades/patógenos.


Tabla 5.8. Porcentaje promedio mensual de incidencia de plagas en los cultivos de mango durante el periodo de evaluación

Lote	Plaga	2022												2023			Promedio
		Ene	Feb	Mar	Abr	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar		
		Porcentaje de incidencia															
3A6	Escamas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,56	0,11
	<i>Euryscopa</i> sp.	0,00	0,00	0,00	14,06	0,78	1,59	0,00	0,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,23
	<i>M. anacoreta</i>	0,00	0,00	0,00	2,34	0,00	0,00	0,00	0,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22
	Trips	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,63	2,34	1,17	1,37
	Ácaros	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,23	0,00	0,16
4A1	Escamas	0,00	0,45	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05
	<i>Euryscopa</i> sp.	0,00	0,00	0,00	43,30	26,34	2,23	21,43	3,57	0,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,45	4,91	7,37
	<i>M. anacoreta</i>	8,04	15,63	7,37	13,39	16,52	0,00	11,16	7,59	2,68	0,45	0,00	4,02	0,00	0,00	6,70	6,68
	Trips	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,89	0,45	0,10

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.9. Porcentaje promedio mensual de incidencia de enfermedades en los cultivos de mango durante el periodo de evaluación

Lote	Enfermedad/ patógeno	2022												2023			Promedio
		Ene	Feb	Mar	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar		
																Porcentaje de incidencia	
3A6	Antracnosis	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,81	4,69	9,38	0,00	0,00	1,56	
	Bacteriosis	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	<i>Fusarium</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	<i>Lasiodiplodia</i> sp.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
4A1	Antracnosis	0,00	0,45	0,22	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,00	0,89	0,00	0,00	2,23	0,00	0,43	
	Bacteriosis	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	<i>Fusarium</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,45	4,91	0,38	
	<i>Lasiodiplodia</i> sp.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,02	4,91	3,57	0,00	4,02	0,00	6,70	1,66	

Fuente: Elaboración propia





Conclusiones

El cultivo de mango Keitt presenta un gran potencial productivo para el Caribe seco colombiano, teniendo en cuenta las condiciones edafoclimáticas de la región. Sin embargo, es importante la implementación de prácticas de manejo adecuadas, desde la siembra hasta la cosecha, para asegurar un buen desarrollo de los árboles en etapa de crecimiento y un buen rendimiento en etapa productiva. Como se evidenció en este trabajo, el sistema de riego por goteo es una excelente alternativa para asegurar una buena disponibilidad de agua en el cultivo y para optimizar su uso, ya que permite dirigirla hacia el sistema radicular, permitiendo además una mayor eficiencia en el uso de los nutrientes cuando se implementan planes de fertirrigación. Sumado a lo anterior, la aplicación de balances hídricos, basados en un seguimiento de la humedad del suelo y las condiciones climáticas, permite realizar riegos en las cantidades y momentos indicados, principalmente durante etapas críticas del cultivo, como el cuajado y llenado de frutos, optimizando la utilización del agua sin afectar la productividad. En cuanto a plagas y enfermedades, la realización de monitoreos constantes en el cultivo permitió tomar medidas de control adecuadas y oportunas.

Referencias

- Agrain, F. A. (2014). An interactive multi-entry key to the species of *Megalostomis* Chevrolat, with description of a new species from Paraguay (Chrysomelidae, Cryptocephalinae). *ZooKeys*, 425, 59-69. <https://doi.org/10.3897/zookeys.425.7631>
- Agronet. (s.f). Reporte: área, producción y rendimiento nacional por cultivo. <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1>
- Arce, B., Granda, C. A., Alva, J. J., & San Martín, C. E. (2019). *Manejo integrado del cultivo de mango Kent*. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/966/1/Arce-Manejo_integrado_cultivo_mango_kent.pdf
- Arias, J. H., Jaramillo, M., & Rengifo, T. (2007). *Buenas prácticas agrícolas (BPA) en la producción de frijol voluble* [manual técnico]. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO); Gobernación de Antioquia; Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). <http://www.fao.org/3/a-a1359s.pdf>



- Assis, E., & Rabelo, F. (2005). *Pragas da mangueira: monitoramento, nível de acao e controle*. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria (Embrapa). <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/133188/pragas-da-mangueira-monitoramento-nivel-de-acao-e-controle>
- Bernal, J. A., & Díaz, C. A. (2009). Generalidades del cultivo. En J. A. Bernal, & C. A. Díaz (Eds.), *Tecnología para el cultivo del mango con énfasis en mangos criollos* (pp. 15-80). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/13523>
- Caro Daza, D. (2019, 14 de septiembre). El mango del Cesar volvería a mercados internacionales. *El Pílon*. <https://elpilon.com.co/el-mango-del-cesar-volveria-a-mercados-internacionales/#:~:text=Ingresar%2Omango%20producido%20en%20el,la%20calidad%20de%20la%20fruta.>
- Castaño, K., Chará, J., Giraldo, C., & Calle, Z. (Eds.). (2019). *Manejo integrado de insectos herbívoros en sistemas ganaderos sostenibles*. Cipav. <http://cipav.org.co/wp-content/uploads/2020/08/manejo-integrado-insectos-herbivoros-sistemas-ganaderos-sostenibles.pdf>
- Castillo, G. P., & Arcila, Á. M. (2022). Principales plagas y enfermedades del mango de azúcar en el Magdalena: pautas para su identificación, monitoreo y manejo. En A. Arcila, G. Castillo, L. Pérez, C. Abaunza, M. Yacomelo, & M. León (Eds.), *Modelo productivo de mango de azúcar (Mangifera indica L.) para el departamento del Magdalena* (pp. 135-182). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://editorial.agrosavia.co/index.php/publicaciones/catalog/view/250/232/1546-1>
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). (2022). *Megalostomis anachoreta* Lacordaire, 1848. <https://www.agrosavia.co/ctni/ctc/coleoptera/chrysomelidae/megalostomis/megalostomis-anachoreta/>
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), & Asociación Hortifrutícola de Colombia (Asohofrucol). (2013). *Modelo tecnológico para el cultivo de mango en el valle del alto Magdalena en el departamento del Tolima*. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Documentos-Contexto/S1462-MANGO%20ASOHOFRUCOL%20ICA%20CORPOICA.pdf>
- Da Cruz Batista, D., Terao, D., Guimaraes Barbosa, M. A., & Cruz de H. Tavares, S. C. (2015). *Cultivo da mangueira*. Embrapa. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1031747/1/Cultivo-da-Mangueira.pdf>
- De Souza, P. J. de O. P., Rodrigues, J. C., De Sousa, A. M. L., De Lima, R. T., Da Rocha, E. J. P., & Ortega-Farias, S. (2016). Water requirement estimate for the reproductive period of mango orchads in the northeast of the state of Pará, Brazil. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 38(3). <https://doi.org/10.1590/0100-29452016311>



- Del Pino, M., Vela, J. M., Boyero, J. R., & Bienvenido, C. (2021). Phenology and management of the white mango scale, *Aulacaspis tubercularis* Newstead (Hemiptera: Diaspididae), in Southern Spain. *Phytoparasitica*, 49, 459-477. <https://doi.org/10.1007/s12600-020-00878-5>
- Della Lucia, T. M. C. (2011). *Formigas-cortadeiras da bioecologia ao manejo*. Editora UFV.
- Della Lucia, T. M. C., Gandra, L. C., & Guedes, R. N. C. (2014). Managing leaf-cutting ants: Peculiarities, trends and challenges. *Pest Management Science*, 70(1), 14-23. <https://doi.org/10.1002/ps.3660>
- Desfaur, N., Asni, J., Lukman, A., & Muswita. (2018). The relation of the bean flower thrips, *Megalurothrips usitatus* Bagnall (Thripidae) abundance with the existence of thrips predators on the legume plant (Fabaceae) in Jambi region, Sumatera, Indonesia. *Journal of Entomological Research*, 42(4), 469-478. <https://doi.org/10.5958/0974-4576.2018.00078.6>
- Duran, Y., Otero-Colina, G., Ortega-Arenas, L. D., Arriola, V. J., Mora-Aguilera, J. A., Damián-Nava, A., & García-Escamilla, P. (2017). Evaluación de insecticidas para control de trips y ácaros plagas del mango (*Mangifera indica* L.) en tierra caliente, Guerrero, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 20, 381-394. <https://www.redalyc.org/pdf/939/93953814008.pdf>
- Federación Colombiana de Productores de Mango (Fedemango). (s.f.). Mango Keitt. <https://www.fedemango.org/mango-keitt/>
- Fernández, F., Castro-Huertas, V., & Serna, F. (2015). *Hormigas cortadoras de hojas de Colombia: Acromyrmex & Atta (Hymenoptera: Formicidae)*. Universidad Nacional de Colombia. https://www.antwiki.org/wiki/images/0/06/Fernandez_et_al_2015_atta_and_acromyrmex_of_colombia.pdf
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2017). *Manual técnico de trampeo de moscas de la fruta. Plan Nacional de Detección, Control y Erradicación de Moscas de la Fruta*. https://www.ica.gov.co/areas/agricola/servicios/epidemiologia-agricola/documentos/manual_pnmf_2017.aspx
- Iowa State University. (2013). *Integrated pest management for home gardens and landscapes*. <https://store.extension.iastate.edu/Product/Integrated-Pest-Management-for-Home-Gardens-and-Landscapes-PDF#:~:text=Integrated%20Pest%20Management,for%20Home%20Gardens%20and%20Landscapes,and%20other%20destruc%2D%20tive%20pests>
- Jiménez, J. A., & Mora, J. (2003). *El cultivo del mango*. Universidad Earth.
- Kondo, D. T. (2009). Insectos. En J. A. Bernal, & C. A. Díaz (Eds.), *Tecnología para el cultivo del mango con énfasis en mangos criollos* (pp. 105-140). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/13523>
- Lemus, Y. A., Rodríguez, G. M., Cuervo, R. A., Durán, J. A., Zuluaga, C. L., & Rodríguez, G. (2008). Determinación de la factibilidad del hongo *Metarhizium anisopliae* para ser usado como control



- biológico de la hormiga arriera (*Atta cephalotes*). *Revista Científica Guillermo de Ockham*, 6(1), 91-98. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=105312257007>
- Martínez, J. A., Fajardo, A. G., Esquivel, J. S., González, D. M., Prieto, Á. G., & Rincón, D. (2020). *Manejo integrado del cultivo de mango* *Mangifera indica* L. *Revista Ciencias Agropecuarias*, 6(1), 51-78. <https://doi.org/10.36436/24223484.267>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). (2019). *Cadena del mango. Indicadores e instrumentos*. Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Mango/Documentos/2019-06-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- Miranda, D. (2020). *Mango* (*Mangifera indica* L.): *manual de recomendaciones técnicas para su cultivo en el departamento de Cundinamarca*. Corredor Tecnológico Agroindustrial CTA-2. <http://investigacion.bogota.unal.edu.co/visibilidad/publicaciones/manuales-derivado-2/mango-mangifera-indica-l-manual-de-recomendaciones-tecnicas-para-su-cultivo-en-el-departamento-de-cundinamarca>
- Niño Maldonado, S., & Sánchez Reyes, U. J. (2017). Familia Chrysomelidae. En D. Cibrián Tovar (Ed.), *Fundamentos de entomología forestal* (pp. 247-264). Universidad Autónoma Chapingo. https://www.researchgate.net/publication/361226473_New_Records_of_Galerucinae_Latreille_1802_1_for_Mexico
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2013). *Afrontar la escasez de agua. Un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria. Informe sobre temas hídricos*. <https://www.fao.org/3/i3015s/i3015s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2020). *FAOSTAT. Value of agricultural production*. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QV>
- Osorio, J., & Cardona, C. (2003). Fenología, fluctuación de poblaciones y métodos de muestreo para *Thrips palmi* (Thysanoptera: Thripidae) en habichuela y fríjol. *Revista Colombiana de Entomología*, 29(1), 43-49. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=SO120-04882003000100007
- Osorio, J. A., Martínez, E. P., & Hío, J. C. (2012). *Screening* de filtrados de cultivos microbianos, extractos vegetales y fungicidas para el control de la antracnosis del mango. *Agronomía Colombiana*, 30(2), 222-229. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/20877/>
- Pérez, L., León, R. I., Yacomelo, M. J., & Abaunza, C. A. (2022). Prácticas culturales. En A. Arcila, G. Castillo, L. Pérez, C. Abaunza, M. Yacomelo, & M. León (Eds.), *Modelo productivo de mango de azúcar* (*Mangifera indica* L.) *para el departamento del Magdalena* (pp. 109-134). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://editorial.agrosavia.co/index.php/publicaciones/catalog/view/250/232/1546-1>
- Porras, M. A., Otálora, S. J., & Velásquez, M. A. (2020). *Estudio de factibilidad para el cultivo y comercialización de mango tipo Keitt y Tommy Atkins en el corregimiento de Yarima, San Vicente del*



- Chucurí - Santander [tesis de grado, Universidad Cooperativa de Colombia]. <https://repository.ucc.edu.co/items/72de4da5-fb20-4548-b8a4-dc17494241b5>
- Reyes, C. (2004). Manejo agronómico del mango (*Mangifera indica* L.). En *Memorias Curso Nacional sobre Producción de Frutas de Clima Cálido* (pp. 22-26). CIAT; Asohofrucol.
- Rodríguez, J., Calle, Z., & Montoya-Lerma, J. (2008). Herbivoría de *Atta cephalotes* (Hymenoptera: Myrmicinae) sobre tres sustratos vegetales. *Revista Colombiana de Entomología*, 34(2), 156-162. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-04882008000200004
- Roig-Juñent, S., Domínguez, M., & Agrain, F. (2007). Taxonomic revision and preliminary phylogenetic analysis of the subgenus *Megalostomis* (*Scaphigenia*) Lacordaire (Coleoptera: Chrysomelidae). *Insect Systematics & Evolution*, 38(3), 335-359. <https://doi.org/10.1163/187631207788754402>
- Rubio, E. (1968). Estudio preliminar de los insectos perjudiciales a los árboles de níspero (*Achras zapota* Linneus) en el estado Zulia, Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)*, 1(1), 1-24. https://www.revfacagronluz.org.ve/v01_1/v011z002.html
- Salahuddin, B., Rahman, H. U., Khan, I., & Daud, M. K. (2015). Incidence and management of coconut scale, *Aspidiotus destructor* Signoret (Hemiptera: Diaspididae), and its parasitoids on mango (*Mangifera* sp.). *Crop Protection*, 74, 103-109. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.03.019>
- Sánchez, A. (2016). *Entomofauna asociada al cultivo de parchita* (*Passiflora edulis* Sims.) en *ucv-Fagro, Estado Aragua* [tesis de pregrado, Universidad Central de Venezuela]. <http://saber.ucv.ve/bitstream/10872/20773/1/TESIS-ANDREA%2016%20junio%20OD.pdf>
- Tavera, L. A. (2018). *Adaptación del mango Keitt* (*Mangifera indica* L.) a las condiciones agroecológicas en San Vicente de Chucurí (Santander) [tesis de grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/18877/13642665.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). (2018). *Plan de ordenamiento productivo y social de la propiedad rural. Cesar*. https://www.upra.gov.co/es-co/Publicaciones/POPSPR_Cesar.pdf
- Uriás-López, M. A., Hernández-Fuentes, L. M., Osuna-García, J. A., Pérez-Barraza, M. H., García-Álvarez, N. C., & González-Carrillo, J. A. (2013). Aspersiones de insecticidas en campo para controlar la escama blanca del mango (Hemiptera: Diaspididae). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(2), 1-8. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v36n2/v36n2a10.pdf>
- Venkata Rami Reddy, P., Gundappa, P., & Chakravarthy, A. K. (2018). Pests of mango. En Omkar (Ed.), *Pests and their management* (pp. 415-440). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-8687-8_12



Capítulo VI.

Manejo integrado del cultivo de cítricos en el Caribe seco: un enfoque en el uso eficiente del agua y el suelo, y el control efectivo de plagas y enfermedades

Luis Fernando Gómez Ramírez, Paola Vanessa Sierra-Baquero, Deimer Alberto Fuentes Cassiani, Tatiana Sánchez Doria, Claudia Maricel Ipaz Cuastumal y José Antonio Rubiano Rodríguez



Introducción

Los cítricos son una de las especies de frutales más cultivadas a nivel mundial, con una superficie sembrada de más de 8 millones de hectáreas y una producción de aproximadamente 101.500.000 t en 2019 (Miranda Lasprilla, 2020). En Colombia, son el segundo frutal de mayor importancia en términos de área cosechada, con 103.829 ha y una producción de 1.488.078 t para 2021, demostrando un incremento importante en los últimos años (Agronet, 2022). Se cultivan desde el nivel del mar hasta los 2.000 m de altitud, aunque para la producción con fines comerciales es recomendable su establecimiento hasta los 1.600 m s. n. m. (Hernández et al., 2014).

Aproximadamente el 48 % de la producción citrícola en Colombia corresponde a naranjas (*Citrus sinensis* [L.] Osbeck), cerca del 31 % a limas ácidas (*Citrus aurantifolia* [Christm.] Swingle y *Citrus × latifolia* Tanaka ex Q. Jiménez) y un 19 % a mandarinas (*Citrus reticulata*), concentrada principalmente en seis zonas: la costa Caribe (Atlántico, Magdalena, Cesar, Córdoba y Bolívar), el nororiente (Santander, Norte de Santander y Boyacá), la zona centro (Cundinamarca, Tolima y Huila), los Llanos Orientales (Meta y Casanare), la zona occidente (Antioquia, Valle del Cauca, Caldas, Risaralda y Quindío) y la zona sur (Cauca y Nariño) (Agronet, 2022). El Caribe colombiano, para 2021, presentó un área sembrada de 7.061 ha y una producción aproximada de 80.800 t (Agronet, 2022), destinada principalmente al mercado de consumo de fruta fresca, aunque también se emplea para la producción de jugo (Orduz-Rodríguez et al., 2011).

El Caribe seco, al igual que muchas otras regiones del país, tiene un potencial productivo y de exportación para el cultivo de cítricos por sus características edafoclimáticas favorables, como temperaturas medias de 23 a 34 °C, pluviosidades acumuladas anuales de 900-1.200 mm, buena luminosidad y óptimas condiciones agroecológicas y de suelos (Orduz-Rodríguez & Mateus Cagua, 2012). Adicionalmente, en esta región, las características de déficit hídrico y las temperaturas constituyen factores de gran relevancia para la inducción de la floración en la planta, lo cual se puede modular de manera que este periodo de estrés, seguido de una irrigación adecuada, ayude a aumentar la uniformidad de la producción (Vélez et al., 2012).



Sin embargo, aspectos como la producción concentrada en ciertos periodos del año, la baja tecnificación del cultivo, altos costos de producción asociados al uso excesivo de agroquímicos y mano de obra —debido a deficiencias en la mecanización de las labores de cultivo y cosecha—, escasas variedades nuevas y la deficiencia en el suministro de agua por medio de sistemas de riego apropiados, entre otros factores, limitan la competitividad del sector frente a otros mercados (Miranda Lasprilla, 2020). Por ello, es importante la implementación de nuevas estrategias de manejo y tecnologías de producción, que se adapten a las necesidades de la producción local y nacional, aprovechando las ventajas comparativas del país en cuanto a su ubicación geográfica y capacidad productiva, con el fin de incrementar la competitividad, reduciendo los costos de producción (Álvarez Arango & Hincapié Llanos, 2021).

Una de estas estrategias, relevante para avanzar en los procesos de tecnificación, es la implementación de sistemas de riego y fertirriego eficientes, que promuevan una mejor producción y calidad de fruto, sobre todo en regiones donde el agua aportada por la lluvia es inferior a la evapotranspiración potencial del cultivo, como ocurre en algunas épocas del año en el Caribe seco colombiano, por lo que el suministro adicional de agua es necesario para obtener una mayor rentabilidad en la cosecha (Vélez et al., 2012).

Uno de los sistemas de riego más implementados en la actualidad en diversos cultivos, incluyendo los cítricos, es el riego por goteo. Este sistema permite un uso eficiente del recurso hídrico, ya que con él se puede aplicar el agua de manera localizada, en forma de gota, por medio de emisores, cerca de las raíces, descargando pequeños volúmenes en forma periódica, controlada y uniforme, evitando pérdidas por evaporación y percolación profunda (Pérez-Pérez et al., 2020). Además, este sistema permite, en conjunto con la instalación de un sistema de fertirriego, realizar la aplicación de fertilizantes y productos fitosanitarios para el manejo de plagas y enfermedades por medio del riego y de manera controlada y uniforme en el suelo o en el cultivo (Páez et al., 2016).

Con base en lo anterior, el objetivo de este capítulo es exponer algunos aspectos teóricos de manejo y producción de cítricos, y resultados asociados a su establecimiento y manejo en las condiciones del Caribe seco colombiano, con un enfoque en el uso eficiente del agua (sistema de riego) y el suelo (fertilización), así como en el manejo integrado de plagas y enfermedades, con el fin de aportar al conocimiento técnico y



orientar el desarrollo de actividades productivas de pequeños y medianos productores citrícolas de la región.

Establecimiento del cultivo de cítricos

El establecimiento de los cítricos consistió en tres pasos importantes: la consecución del material vegetal (debidamente certificado), la adecuación del terreno y la siembra.

Material vegetal

Uno de los aspectos más importantes a la hora de establecer un cultivo de cítricos es una selección adecuada de los patrones y variedades para utilizar, teniendo en cuenta su compatibilidad, comportamiento y adaptación a la zona donde se va a sembrar, sus requerimientos climáticos y edáficos, y características del mercado, entre otros. Esto cobra aún más importancia si tenemos en cuenta que el patrón influye sobre características agronómicas como la altura, vigor y enraizamiento de la planta, la tolerancia a condiciones de estrés abiótico —como el estrés hídrico por exceso o deficiencia de agua—, la tolerancia a plagas y algunas enfermedades ocasionadas por fitopatógenos, así como el rendimiento y la calidad del fruto (Garcés Giraldo, 2012; Pinto Zapata, 2008).

Los patrones como *Citrus volkameriana* y naranjo agrio, así como *Swingle citrumelo* (CPB-4475), y variedades como lima ácida (limón criollo o pajarito) (*Citrus aurantiifolia* [Christm.] Swingle) y naranja Valencia (*Citrus sinensis* [L.] Osbeck) son algunos de los más utilizados en las principales zonas productoras de la costa Caribe, incluyendo el Caribe seco, pues presentan una buena adaptación a altitudes desde el nivel del mar hasta los 1.200 m s. n. m. (Pinto Zapata, 2008). A la hora de adquirir las plántulas, es importante que estas procedan de viveros registrados ante el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) y que hayan sido multiplicadas con calidad genética y sanitaria (Murcia Riaño et al., 2020).

Preparación del suelo y siembra

Antes del establecimiento del cultivo, es importante realizar un análisis de las características fisicoquímicas del suelo, con el fin de definir qué manejo específico es necesario realizar antes de la siembra (correctivos, fertilización y uso de maquinaria) (Orduz-Rodríguez & Mateus Cagua, 2012). Los cítricos presentan un desarrollo



adecuado en suelos francos, que contengan entre el 15 y el 20 % de arcilla, entre el 15 y el 20 % de limo, entre el 20 y el 30 % de arena fina y entre el 30 y el 50 % de arena gruesa; en el caso de los suelos con altos contenidos de arcilla, se puede evidenciar un desarrollo menos abundante del sistema radical, lo que puede derivar en plantas menos vigorosas y con frutos más pequeños y de menor calidad. Además, este tipo de suelos puede presentar encharcamientos si no se cuenta con un sistema de drenaje adecuado, lo que puede derivar en problemas fitosanitarios y estrés hídrico en la planta (Escobar Torres, 2008; Murcia Riaño et al., 2020).

Por otra parte, teniendo en cuenta el desarrollo radicular de los árboles, que puede alcanzar una profundidad de hasta 6 m, se requiere de una profundidad efectiva entre 0,3 y 2 m. Para determinar este parámetro, es necesario realizar un análisis de densidad aparente cada 10 cm de profundidad, hasta los 100 cm, con el fin de identificar zonas compactas que puedan afectar el desarrollo normal de las raíces. Con base en esta información, se puede determinar el tipo de labranza por realizar (Murcia Riaño et al., 2020).

En cuanto a la siembra, el número de plantas por hectárea y su distribución son criterios clave para tener en cuenta en el establecimiento del cultivo. Esta distribución se debe definir teniendo en cuenta criterios como el tamaño potencial y el vigor característico de la planta según la interacción variedad-patrón, las características físico-químicas del suelo, las condiciones climáticas, la topografía del terreno, las labores y el tipo de mecanización, entre otros (Murcia Riaño et al., 2020; Orduz-Rodríguez & Mateus Cagua, 2012). En Colombia, las distancias más usadas son de 7 m entre plantas, en una distribución cuadrada o tres bolillos, y también se utilizan distancias de 7 m entre filas y 5 o 6 m entre plantas; sin embargo, cuando se siembran plantas que alcanzan gran tamaño, se implementan siembras de 8 × 5 m u 8 × 6 m, lo que equivale a densidades de 285 y 208 plantas/ha, respectivamente (Mateus-Cagua & Orduz-Rodríguez, 2016; Murcia Riaño et al., 2020).

Una vez definidas las distancias de siembra, se procede a realizar el trazado del lote, y posteriormente se pueden distribuir las plántulas que se van a trasplantar en cada sitio. Para la siembra, se hace un ahoyado con dimensiones de 40 cm de profundidad y 40 cm de diámetro, aproximadamente. Antes de sembrar las plántulas, se debe retirar la bolsa plástica de la etapa de vivero, con el fin de prevenir daños en el sistema radical. El suelo retirado en el ahoyado puede ser homogeneizado con algunos correctivos que se requieran según el análisis químico del suelo y con materia orgánica



en forma de compost u otro tipo de fertilizantes orgánicos o biológicos (como micorrizas). Posteriormente, se coloca esta mezcla debajo y alrededor de la plántula para proporcionarle una altura apropiada (5-10 cm por encima del suelo) y evitar que su base quede expuesta a encharcamientos que deriven en la aparición de enfermedades (Murcia Riaño et al., 2020).

Manejo integrado del cultivo

El manejo del cultivo de cítricos constó de las siguientes actividades: fertilización, podas según la etapa fenológica del cultivo, control de arvenses, riego y uso eficiente del agua, y manejo de plagas y enfermedades.

Fertilización y nutrición

La fertilización del cultivo es un aspecto fundamental para un adecuado crecimiento de la planta y para la obtención de altos rendimientos y una buena calidad de frutos a la hora de la cosecha, aunque su eficacia va a depender de que no existan otros factores limitantes de la producción. El análisis de suelo, los requerimientos nutricionales de la planta, la edad de la plantación y la productividad esperada son factores para considerar en la definición de las dosis, el tipo y el momento oportuno de aplicación de fertilizantes en el cultivo (Ordúz-Rodríguez & Mateus Cagua, 2012). Durante el desarrollo del cultivo, se recomienda realizar análisis de suelos cada dos años y análisis foliares anuales, con el fin de generar un plan nutricional adecuado y corregir deficiencias que se presenten en el cultivo; esto, acompañado de monitoreos visuales de síntomas que permitan diagnosticar deficiencias en las plantas (Murcia Riaño et al., 2020; Pérez-Pérez et al., 2020).

La fertilización de los cítricos se basa principalmente en la aplicación de N y K, cuyos requerimientos son mayores conforme incrementa la edad del cultivo, y constituyen los macronutrientes de mayor influencia en la producción y calidad de los frutos. Sin embargo, dependiendo de los análisis de fertilidad del suelo, puede ser necesaria la aplicación de otros macroelementos, como el P, y microelementos, como Ca, Mg, Fe y Mn (Ordúz-Rodríguez & Mateus Cagua, 2012).

En la fertilización edáfica se recomienda, en el momento de realizar la aplicación de los fertilizantes, incorporarlos en la zona de plateo, a 30 cm de profundidad, que



corresponde a la zona con mayor número de raíces finas y activas en los árboles. Si se cuenta con un sistema de riego por goteo, se recomienda esta aplicación cerca al gotero, aproximadamente a $1/3$ de la distancia entre el gotero y la base del árbol (Miranda Lasprilla, 2020). Por otra parte, también se pueden realizar fertilizaciones foliares en el cultivo, sobre todo cuando se evidencian deficiencias nutricionales, teniendo en cuenta que por medio del follaje se puede presentar una asimilación más rápida y eficiente de los nutrientes en comparación con la fertilización edáfica, aunque su efecto es a corto plazo (Lovatt, 2000). Tanto macro como microelementos se pueden implementar por medio de este sistema de fertilización complementario (Albrigo & Galán Saúco, 2004; González & Tullo, 2019).

Podas

Las podas en cítricos, así como en muchos frutales, son parte fundamental del manejo agronómico del cultivo, pues cumplen diferentes objetivos, como formar la estructura del árbol para sostener su desarrollo vegetativo y productivo y regular su altura, eliminar ramas indeseables (chupones del patrón y de la copa), enfermas o afectadas por patógenos, mejorar la entrada de luz al interior de la copa y mejorar la fructificación y capacidad productiva de la planta (Miranda Lasprilla, 2020). Es importante mencionar que las herramientas usadas para el corte durante las podas deben ser desinfectadas de árbol a árbol con productos para dicho fin, con el objetivo de prevenir la diseminación de enfermedades en el cultivo. De igual manera, se aconseja aplicar sobre las heridas realizadas pasta cicatrizante o fungicidas, para prevenir el ingreso de patógenos a la planta (Orduz-Rodríguez & Mateus Cagua, 2012). Entre los diferentes tipos de podas, encontramos las siguientes:

Poda de formación y estructura: en esta poda, se realiza un corte del tallo principal de la planta, a una altura del suelo entre 60 y 80 cm, con el fin de forzar el desarrollo de brotes y ramas nuevas, de las cuales se seleccionan entre tres y cuatro, ubicadas de forma alternada alrededor del tallo, para que den origen a las ramas principales del árbol. Posteriormente, estas ramas pueden ser despuntadas a 12-15 cm de longitud para estimular la formación de nuevas ramas, que le darán estructura a la copa (Murcia Riaño et al., 2020).

Poda en etapa de desarrollo y de mantenimiento: en esta poda se realiza la eliminación de brotes provenientes del patrón y de ramas bajas de la planta, y con ella se busca mantener la copa abierta y despejada, de manera que haya una apropiada



circulación de aire y penetración de luz. También se busca el engrosamiento de las ramas primarias y la formación de ramas secundarias y terciarias, manteniendo la forma dada a los árboles en la poda estructural (Miranda Lasprilla, 2020; Murcia Riaño et al., 2020).

Poda sanitaria: en esta poda se eliminan ramas afectadas por patógenos e insectos, o con limitantes nutricionales, así como ramas muertas. También se eliminan residuos de las panículas florales al terminar la cosecha, ya que estos se convierten en focos de enfermedades (Miranda Lasprilla, 2020).

Poda en etapa productiva: con esta poda se busca preparar al árbol para el ciclo productivo. Se eliminan las ramas improductivas y se propicia el desarrollo vegetativo relacionado con la producción. Esta poda debe realizarse, preferiblemente, en conjunto con un apropiado manejo nutricional de las plantas y un suministro adecuado de riego (Miranda Lasprilla, 2020; Murcia Riaño et al., 2020).

Control de arvenses

Las arvenses compiten con el cultivo por nutrientes, agua y luz (en este último caso, cuando se trata de plantas pequeñas), por lo que, si no se realizan controles oportunos y adecuados, pueden afectar el desarrollo de las plantas (González & Tullo, 2019). La incidencia de las arvenses es aún más severa en épocas de altas precipitaciones, lo cual ocurre debido a que las arvenses presentan un rápido crecimiento y eficiencia en la asimilación de nutrientes, así como mecanismos eficientes de multiplicación, lo que les confiere algunas ventajas competitivas (Murcia Riaño et al., 2020).

Por lo anterior, es importante establecer estrategias para su manejo, como la aplicación de herbicidas antes del trasplante, la siembra de coberturas vegetales (preferiblemente leguminosas con alta producción de masa verde), la limpieza de la zona de desarrollo radical de la planta (área de plateo) de forma mecánica (machete o guadaña) o química (herbicidas), entre otras (González & Tullo, 2019; Murcia Riaño et al., 2020). El control químico se recomienda al inicio de las lluvias, con el fin de debilitar las arvenses, para posteriormente continuar con controles mecánicos, preferiblemente antes de la fertilización edáfica, y en las calles se recomienda realizar un manejo con tractor y cortamaleza. Es importante tener precaución durante los controles mecánicos cerca a la base de la planta, para evitar generar lesiones en el tallo y en raíces superficiales (Murcia Riaño et al., 2020).



Riego y uso eficiente del agua

Se estima que los requerimientos hídricos de los cítricos oscilan entre 1.000 y 1.563 mm anuales. Estos requerimientos son críticos durante la época seca y en etapas tempranas del cultivo, cuando existe una alta susceptibilidad de la planta al estrés hídrico. Por su parte, en plantas adultas y en edad productiva, el estrés hídrico es un buen inductor de la floración, por lo que la modulación de este estado es importante para una buena producción. Sin embargo, una vez inicia la etapa de cuajado y llenado de frutos, es indispensable, entre otros aspectos, la aplicación de riegos para evitar pérdidas y asegurar una buena calidad de los frutos, ya que un estrés durante esta etapa puede llevar a una disminución en la cantidad de jugo y en el peso y tamaño de la fruta. Regiones citrícolas en el Caribe seco presentan déficit hídrico durante varios meses del año, por lo que es importante implementar riegos de forma permanente (Hernández et al., 2014).

Para suplir el riego, se debe seleccionar un sistema adecuado, que permita un aprovechamiento eficiente del agua. Este sistema se elige en función de las características del suelo, entre otros factores (Murcia Riaño et al., 2020). El sistema de riego por goteo es uno de los más utilizados en cítricos en la actualidad, pues presenta beneficios, en cuanto a ahorro y eficiencia en el uso del recurso hídrico, superiores al 90 %, ya que permite una aplicación localizada y uniforme del agua en forma de gotas, humedeciendo entre el 33 y el 50 % de la superficie del lote, debido a su disposición en líneas paralelas a los árboles (Intagri, s.f.).

Autores como Escobar Torres (2008) y Sabogal (2015) sugieren que, en el sistema de riego por goteo, se debe asegurar una superficie de humedecimiento entre el 33 y el 40 % del plato del árbol, con el fin de obtener un buen desarrollo y productividad. Por su parte, Martínez et al. (2019) y Murcia Riaño et al. (2020) recomiendan realizar el riego en función de la humedad del suelo, por lo que es importante hacer un monitoreo de dicha humedad (ya sea con el uso de sensores o mediante una prueba de humedad gravimétrica) con el fin de definir el momento oportuno y la cantidad de agua por aplicar, tomando como base un porcentaje de agotamiento que puede variar entre suelos arenosos (cuando se haya consumido un 30 % de la capacidad de campo) y arcillosos (cuando se haya consumido un 80 % de la capacidad de campo). Por su parte, Shalhevet y Levy (1990) recomiendan aplicaciones de 10, 15, 25, 45 y 65 L/ árbol/día desde el primer año hasta el sexto, respectivamente, y a partir de los 6 años recomiendan 100 L/árbol/día.



Un aspecto adicional y de gran importancia en el uso del sistema de riego por goteo es que, acoplado a un sistema de fertirrigación, permite la aplicación de fertilizantes y productos para el manejo fitosanitario del cultivo, a través del agua de riego, aunque para la implementación de este tipo de sistema es necesario conocer el comportamiento del agua en determinado suelo, realizar correctos balances hídricos y usar productos solubles en las dosis adecuadas; sin embargo, es una estrategia que contribuye a minimizar costos en términos de mano de obra y mejora la aplicación de productos al hacerlo de forma localizada y uniforme (Escobar Torres, 2008).

Manejo integrado de plagas y enfermedades

Desde su establecimiento y durante todo su ciclo de desarrollo, los cítricos pueden ser afectados por diversos insectos y patógenos (nematodos, hongos, bacterias y virus) que pueden generar daños en diferentes partes de la planta, limitar su desarrollo, vigor y producción, y, en casos severos, causar su muerte, por lo que es necesario realizar monitoreos frecuentes que permitan la identificación de síntomas y daños asociados a este tipo de organismos, así como implementar medidas de control enmarcadas en un manejo integrado de plagas y enfermedades (MIPE) (Di Masi et al., 2021).

El MIPE se basa en la implementación combinada de prácticas de control biológicas, culturales, físicas y químicas que buscan minimizar el daño ocasionado por las plagas o enfermedades en el cultivo, priorizando los métodos que generen un menor impacto ambiental y sobre la salud humana pero que al mismo tiempo conserven los rendimientos del cultivo, teniendo en cuenta también que los daños generados no logren sobrepasar los umbrales de daño económico, para lo cual es necesario recurrir a la observación continua en el cultivo (Peralta et al., 2021).

Plagas

A continuación, se describen algunas plagas potenciales y enfermedades frecuentes y limitantes para los cultivos de cítricos en las condiciones del Caribe seco colombiano.

Minador de la hoja (*Phyllocnistis citrella* Stainton [Lepidoptera: Gracillariidae])

Este lepidóptero, en su estado larval, genera galerías sinuosas en las hojas, produciendo daños significativos principalmente en plantas de vivero y plantas jóvenes, hasta dos años después del trasplante en campo. Los daños son provocados por la larva después



de traspasar la epidermis de la hoja y destruir las células vegetales durante la alimentación, causando un enrollamiento y deformación de las hojas (figura 6.1), y, por consiguiente, una reducción en su área foliar y superficie fotosintética, llegando a generar pérdidas productivas de hasta un 40 % (Peña et al., 2000). Su incidencia es mayor cuando inicia la época de lluvias, debido a la producción de brotes nuevos en las plantas, los cuales son más susceptibles y apetecidos por la larva (Murcia Riaño et al., 2020).

Para su control, es importante conocer los umbrales de daño, de manera que, si su afectación se mantiene por debajo de dichos umbrales, se pueda priorizar un manejo biológico basado en la conservación de enemigos naturales, como arañas, avispas, crisopas y parasitoides, o la aplicación de bioproductos a base de microorganismos entomopatógenos. Estos umbrales pueden variar en función de la variedad del cítrico y las condiciones agroecológicas de cada región; sin embargo, se han reportado valores de referencia entre el 15 y el 25 % del área foliar afectada, el 30 % de las hojas jóvenes con minas activas y el 50 % de los brotes afectados (León, 2001; Liu et al., 2008). Cuando se toma la decisión de realizar un control químico, es importante utilizar productos con registro ICA, en las dosis recomendadas por el fabricante, y contar siempre con la asesoría de un ingeniero agrónomo. Algunos productos que han demostrado un control eficiente de esta plaga en campo son la abamectina, el imidacloprid y lufenurón.

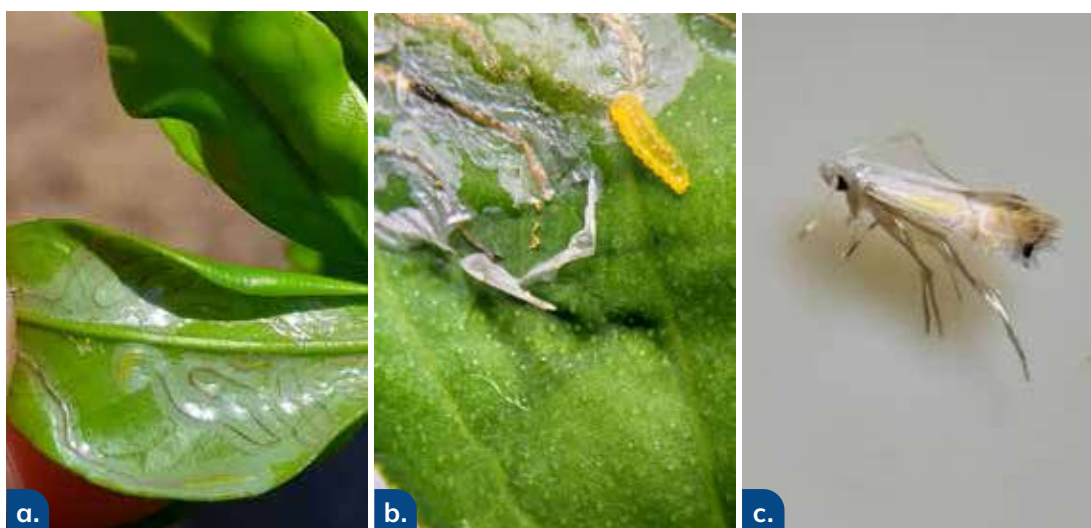


Figura 6.1. Afectación por minador de la hoja en lima ácida. a. Galerías sinuosas en la hoja; b. Larva de *P. citrella* sobre la hoja; c. Adulto de *P. citrella*.

Fotos: Deimer Alberto Fuentes Cassiani y Tatiana Sánchez Doria



Termitas (*Heterotermes* sp.)

Esta plaga presenta una importante incidencia en el Caribe seco colombiano debido a su preferencia por las condiciones secas. Generalmente, provoca daños o lesiones en la parte baja del cuello de la raíz y alrededor del tronco (figura 6.2), causando un debilitamiento del árbol y, en casos severos, provocando su muerte. Adicionalmente, producto de las lesiones generadas en la base de la planta, favorece el ingreso de algunos fitopatógenos presentes en el suelo, como es el caso de *Phytophthora* sp., agente causal de la gomosis (López & Arcila, 2008; Orduz-Rodríguez & Mateus Cagua, 2012). Para su manejo, se pueden implementar prácticas preventivas, como eliminar residuos maderables y residuos de podas cercanos a los árboles o dentro del lote de cultivo, aplicar una pasta de caldo bordelés (sulfato de cobre y cal hidratada) desde la base del tronco hasta un metro de altura y realizar un control oportuno de malezas en el plato del árbol. Cuando la plaga está presente y existen lesiones, se puede hacer un manejo químico mediante la aplicación de insecticidas en la base de la planta (Arcila Cardona et al., 2013).



Figura 6.2. Daño ocasionado por termitas en plantas de lima ácida.

Foto: Deimer Alberto Fuentes Cassiani



Hormigas arrieras (*Atta* spp. y *Acromyrmex* spp.)

Las hormigas arrieras revisten importancia en el cultivo de cítricos en las condiciones del Caribe debido a sus hábitos defoliadores, pues producen cortes semicirculares en las hojas (figura 6.3a) que pueden generar daños severos y provocar retrasos en el desarrollo de huertos jóvenes (figura 6.3b), así como ocasionar pérdidas productivas en plantas adultas (López & Arcila, 2008; Miranda Lasprilla, 2020). Como estrategias para su control, se pueden usar barreras como pegantes y repelentes alrededor de los árboles para evitar que las hormigas trepen en ellos, se puede implementar un control biológico mediante el uso de hongos entomopatógenos o se puede realizar un manejo químico mediante el uso de cebos tóxicos e insecticidas en polvo, lo cual se puede complementar con la aplicación de una pasta de caldo bordelés en la base del tronco hasta un metro de altura (López & Arcila, 2008).



Figura 6.3. Defoliación por hormiga arriera en plantas de naranja Valencia. a. Hormigas cortando las hojas; b. Planta con ramas defoliadas.

Fotos: Deimer Alberto Fuentes Cassiani

Áfidos o pulgones (*Aphis* spp.)

Estos insectos se alimentan extrayendo la savia de las hojas (principalmente en el envés) en brotes tiernos y yemas florales, con lo cual provocan deformaciones o enrollamiento en estos órganos (figura 6.4). También se ha reportado su incidencia en botones florales y frutos pequeños, ocasionando su caída (López & Arcila, 2008).



Adicionalmente, cuando se encuentran en altas poblaciones, producen excreciones azucaradas que favorecen la aparición de fumagina, ocasionada por el hongo *Capnodium* spp., que genera una capa negra sobre la hoja y reduce su capacidad fotosintética (Murcia Riaño et al., 2020). Además, son transmisores de enfermedades virales que afectan la productividad del cultivo (Miranda Lasprilla, 2020).

En condiciones naturales, los áfidos presentan enemigos como *Chrysopa* sp., diferentes especies de coccinélidos, moscas de la familia Syrphidae y avispas parasitoides, que pueden mantener sus poblaciones controladas (Ordúz-Rodríguez & Mateus Cagua, 2012). Sin embargo, cuando sus poblaciones incrementan considerablemente, puede ser necesaria la implementación de estrategias para su manejo, como la aplicación de hongos entomopatógenos de los géneros *Lecanicillium*, *Beauveria*, *Metarhizium* y *Paecilomyces* (Hernández Torres et al., 2007; Rojas-Gutiérrez et al., 2017), o la aplicación de insecticidas sistémicos como dimetoato, siguiendo las recomendaciones del fabricante.



Figura 6.4. Incidencia de pulgones en hojas de lima ácida. a. Pulgones en el envés de la hoja; b. Deformaciones o enrollamiento del brote.

Fotos: Deimer Alberto Fuentes Cassiani



Psílido asiático de los cítricos (*Diaphorina citri*)

Este insecto es una de las plagas más importantes del cultivo, ya que es el principal vector de la bacteria *Candidatus Liberibacter*, que produce la enfermedad conocida como huanglongbing (HLB). Además, puede generar daños al cultivo de manera directa, como resultado de su alimentación a partir de la savia, causando deformaciones en hojas y brotes jóvenes (Varón Devia et al., 2020) (figura 6.5).

En Colombia, se han identificado diferentes enemigos naturales de esta plaga, que incluyen especies de coccinélidos, sírfidos y crisopas (Kondo et al., 2015). Sin embargo, frente a la presencia de altas poblaciones, se hace necesario implementar medidas de control, como aplicación de hongos entomopatógenos (*Lecanicillium lecanii* Zimm., *Beauveria bassiana* [Bals.] Vuill. y *Paecilomyces javanicus* [Friederichs & Bally] AHS Brown & G. Smith) (Kondo et al., 2015) y manejo químico mediante la aplicación de insecticidas registrados ante el ICA.



Figura 6.5. Psílido asiático de los cítricos en lima ácida. a. Ninfas observadas al estereoscopio; b. Adulto de *D. citri* en hoja.

Fotos: Luis Fernando Gómez Ramírez



Ácaros

El cultivo de los cítricos alberga una gran cantidad de ácaros fitófagos que en altas poblaciones pueden llegar a convertirse en limitantes de la producción, debido a que pueden producir deformaciones de las hojas y los brotes jóvenes de la planta, o moteado blanco en las hojas maduras, al alimentarse de estos órganos (Miranda Lasprilla, 2020) (figura 6.6). También pueden generar daños directos sobre los frutos, lo que afecta sus cualidades estéticas y reduce sus precios en ciertos mercados. El ácaro tostador (*Phyllocoptruta oleivora*) es uno de los más importantes para el cultivo en Colombia, debido principalmente a su amplia distribución y a los daños que genera (López & Arcila, 2008). Su incidencia se ve favorecida en épocas de sequía, en condiciones de baja humedad relativa y altas temperaturas, por lo que su presencia es común en regiones como el Caribe seco colombiano. Para su manejo, se recomienda la realización de monitoreos frecuentes y la aplicación localizada de acaricidas y productos azufrados (López & Arcila, 2008).

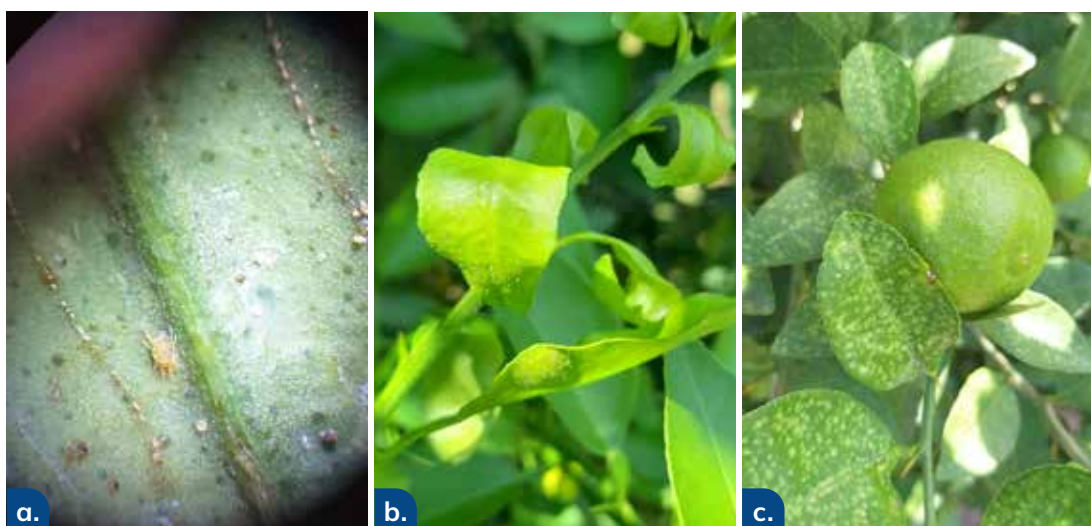


Figura 6.6. Ácaros en plantas de lima ácida. a. Ácaro en el envés de la hoja; b. Entorchamiento de hojas jóvenes causado por ácaros; c. Puntos blancos cloróticos en el haz de hojas maduras causados por ácaros.

Fotos: Deimer Alberto Fuentes Cassiani y Tatiana Sánchez Doria



Enfermedades

De acuerdo con los monitoreos realizados en la zona, se describen a continuación las principales enfermedades identificadas para el cultivo de cítricos, así como el manejo que se implementó para su control.

Antracnosis (*Colletotrichum* spp.)

Es causada por el hongo *Colletotrichum* spp. y afecta hojas, ramas, flores y frutos (figura 6.7). Los síntomas típicos en las hojas son lesiones redondeadas de color marrón oscuro, con bordes definidos y rodeadas por un halo clorótico. En lesiones con alto grado de avance, se pueden observar signos (acérvulos) del hongo en forma de puntos oscuros dispuestos en círculos concéntricos. Los brotes jóvenes presentan una mayor susceptibilidad a la enfermedad, y una vez infectados son necrosados y se doblan hasta colapsar (Murcia Riaño et al., 2020; Páez Redondo & Gil Vallejo, 2008). En flores, se observan lesiones de color marrón rojizo en pétalos, las cuales se van extendiendo hasta afectar los racimos florales por completo. En frutos pequeños, genera desprendimiento, por lo que el pedúnculo y el cáliz quedan adheridos al tallo, formando los botones o estrellas característicos de la enfermedad (Murcia Riaño et al., 2020). En frutos que logran su llenado, puede generar lesiones hundidas de 1,0 a 1,5 mm de diámetro, irregulares, de color marrón a pardo oscuro, y deformaciones (Páez Redondo & Gil Vallejo, 2008).

La enfermedad se ve favorecida principalmente en épocas de alta precipitación, en humedades relativas cercanas al 80 % y con fluctuaciones de la temperatura entre 24 y 30 °C (Murcia Riaño et al., 2020; Páez Redondo & Gil Vallejo, 2008). Para su manejo, es importante implementar medidas como podas de aclareo y podas sanitarias, manejo de arvenses, aplicaciones preventivas de fungicidas protectantes antes de la floración y, cuando haya una incidencia mayor o igual al 20 %, aplicación de fungicidas como benomilo y propineb registrados ante el ICA, siempre con la asesoría de un ingeniero agrónomo (Alarcón Restrepo et al., 2012; Murcia Riaño et al., 2020; Páez Redondo & Gil Vallejo, 2008).



Figura 6.7. Antracnosis en lima ácida. a. Afectación en hojas; b. Afectación en brotes jóvenes; c. Afectación en botones florales; d. Síntomas en racimos florales; e. Frutos pequeños afectados; f. Formación de estrella.

Fotos: Luis Fernando Gómez Ramírez



Gomosis (*Phytophthora* spp.)

Esta enfermedad es ocasionada por oomicetos del género *Phytophthora* y puede afectar la base de la planta (podredumbre del cuello y raíces), las ramas y los frutos de cítricos en cualquier fase de su desarrollo (Vicent et al., 2012); sin embargo, en las condiciones del Caribe seco, es más común la pudrición basal. El síntoma típico de esta enfermedad es la exudación de goma en la parte baja del tronco a partir de grietas que se generan por lesiones necróticas irregulares que se extienden tanto a nivel vertical como lateral y que se van profundizando hasta los haces vasculares de la planta, generando un fenómeno denominado anillamiento, que corresponde a una afectación superior al 50 % del diámetro del árbol (figura 6.8), lo que deriva en su muerte, ya que se ve afectada la traslocación de agua y nutrientes (Murcia Riaño et al., 2020; Orduz-Rodríguez & Mateus Cagua, 2012).

Algunos de los factores que favorecen la incidencia de esta enfermedad son la alta humedad en el suelo por falta de drenajes adecuados; daños mecánicos en las raíces o la parte baja del tallo, ya sea por actividades de manejo o por organismos del suelo como larvas o nemátodos; siembras profundas; el uso de patrones susceptibles, y la aplicación excesiva de fertilizantes nitrogenados (Alarcón Restrepo et al., 2012). Para su manejo, se recomiendan prácticas preventivas como la obtención de materiales certificados, de buena calidad fitosanitaria; el uso de patrones resistentes o tolerantes a la enfermedad; la realización de buenos drenajes en el lote; evitar generar daños mecánicos en el tronco durante las labores agrícolas y desinfectar las herramientas después de las podas; implementar un plan nutricional apropiado, con base en un análisis del suelo, evitando la aplicación excesiva de fuentes nitrogenadas; y controlar los insectos que puedan generar daños en las raíces (Alarcón Restrepo et al., 2012). Si se evidencian síntomas tempranos de la enfermedad, se recomienda remover la parte afectada del tronco y aplicar inmediatamente pasta de caldo bordelés. También se pueden aplicar fungicidas sistémicos a base de fosetil aluminio, con la asesoría de un asistente técnico (Alarcón Restrepo et al., 2012; Orduz-Rodríguez & Mateus Cagua, 2012).

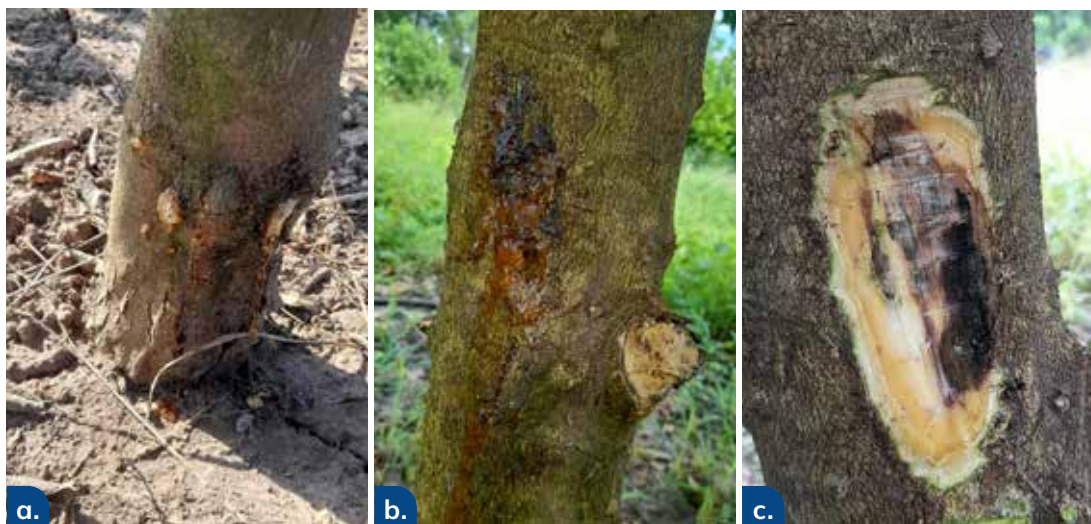


Figura 6.8. Síntomas de gomosis en lima ácida. a y b. Lesiones necróticas y exudación de goma; c. Inicio de anillamiento al realizar un raspado del área afectada.

Fotos: Deimer Alberto Fuentes Cassiani

Huanglongbing (HLB)

Es una enfermedad que afecta gravemente la citricultura en Colombia. Actualmente, se ha reportado en cuarenta municipios de los departamentos de La Guajira, Atlántico, Cesar, Sucre, Bolívar, Magdalena, Norte de Santander y Córdoba (ICA, 2019a). Es causada por la bacteria *Candidatus Liberibacter*, la cual provoca una acumulación excesiva de almidón en el floema de la planta, ocasionando su muerte de manera progresiva debido a la obstrucción que impide la traslocación de fotoasimilados. Los síntomas característicos de la enfermedad son el amarillamiento sectorial de la copa del árbol, producto de un moteado clorótico asimétrico en las hojas (áreas verdes y amarillas con asimetría al comparar la parte izquierda y derecha del limbo) (figura 6.9), y frutos pequeños y con malformación (Murcia Riaño et al., 2020; Varón Devia et al., 2020).

No hay estrategias de manejo que permitan eliminar la enfermedad de la planta; sin embargo, para evitar el ingreso de la bacteria a las plantas y su diseminación, se pueden implementar prácticas preventivas como realizar monitoreos constantes y hacer un manejo integrado del insecto vector (*D. citri*), con énfasis en control biológico alternado con un control químico con productos registrados ante el ICA (sulfoxaflor e imidacloprid + lambdacialotrina) (Murcia Riaño et al., 2020); también se sugiere



realizar un manejo adecuado de cercas vivas que puedan ser hospederas del vector (Pérez-Artiles et al., 2018), detectar y eliminar árboles infectados y usar plantas provenientes de viveros certificados por el ICA (Varón Devia et al., 2020).



Figura 6.9. Síntomas de HLB en lima ácida. a. Árbol clorótico; b. Moteado clorótico asimétrico en hojas.

Fotos: Deimer Alberto Fuentes Cassiani

Experiencia AGROSAVIA: establecimiento y manejo de un cultivo de naranja Valencia (*Citrus sinensis* [L.] Osbeck) y lima ácida (limón pajarito) (*Citrus aurantifolia* [Christm.] Swingle) en el Caribe seco colombiano

Con el fin de buscar estrategias para la optimización del recurso hídrico y el manejo eficiente del suelo, y generar una vitrina tecnológica en el manejo integrado del cultivo de cítricos en las condiciones del Caribe seco colombiano, se realizó el establecimiento de un cultivo en el C. I. Motilonia de AGROSAVIA (Agustín Codazzi, Cesar) con dos de las variedades de cítricos más sembradas en la región (Pinto Zapata,



2008): naranja Valencia (*Citrus sinensis* [L.] Osbeck) y lima ácida (limón pajarito) (*Citrus aurantifolia* [Christm.] Swingle), y los patrones CPB-4475 y *Citrus volkameriana*, respectivamente. Las plantas fueron obtenidas a partir de un vivero certificado por el ICA para la producción de cítricos, de acuerdo con lo sugerido por Murcia Riaño et al. (2020).

La siembra de los árboles se realizó en 1 ha, bajo un arreglo en cuadrícula de 7×7 m. Previamente, se hizo una adecuación del terreno mediante la implementación de dos pases de cincel y un pase de rastra, y se realizaron canales de drenajes para evitar encharcamientos en el lote. Una semana antes de la siembra, se realizó un manejo químico de arvenses. Posteriormente, el lote fue trazado, marcando con una estaca el sitio de siembra, y seguidamente se hizo el ahoyado con dimensiones aproximadas de 40 cm de profundidad y 40 cm de diámetro, para luego proceder a sembrar las plantas, retirando la bolsa plástica para prevenir daños en el sistema radical (figura 6.10). Antes del trasplante, en cada punto de siembra se aplicó materia orgánica compostada y fertilizante edáfico compuesto, según el plan nutricional, siguiendo las recomendaciones de Martínez et al. (2019).

Antes de la siembra, el lote fue dividido en dos parcelas en función del riego: riego convencional (correspondiente al riego implementado por el productor en la región) y riego basado en un balance hídrico (BH) (que se realizó teniendo en cuenta los elementos edafoclimáticos incidentes en la zona), y se establecieron tres subparcelas (réplicas) de 12 árboles por cada variedad dentro de cada manejo de riego, para un total de 36 árboles por tratamiento (figura 6.11; tabla 6.1).

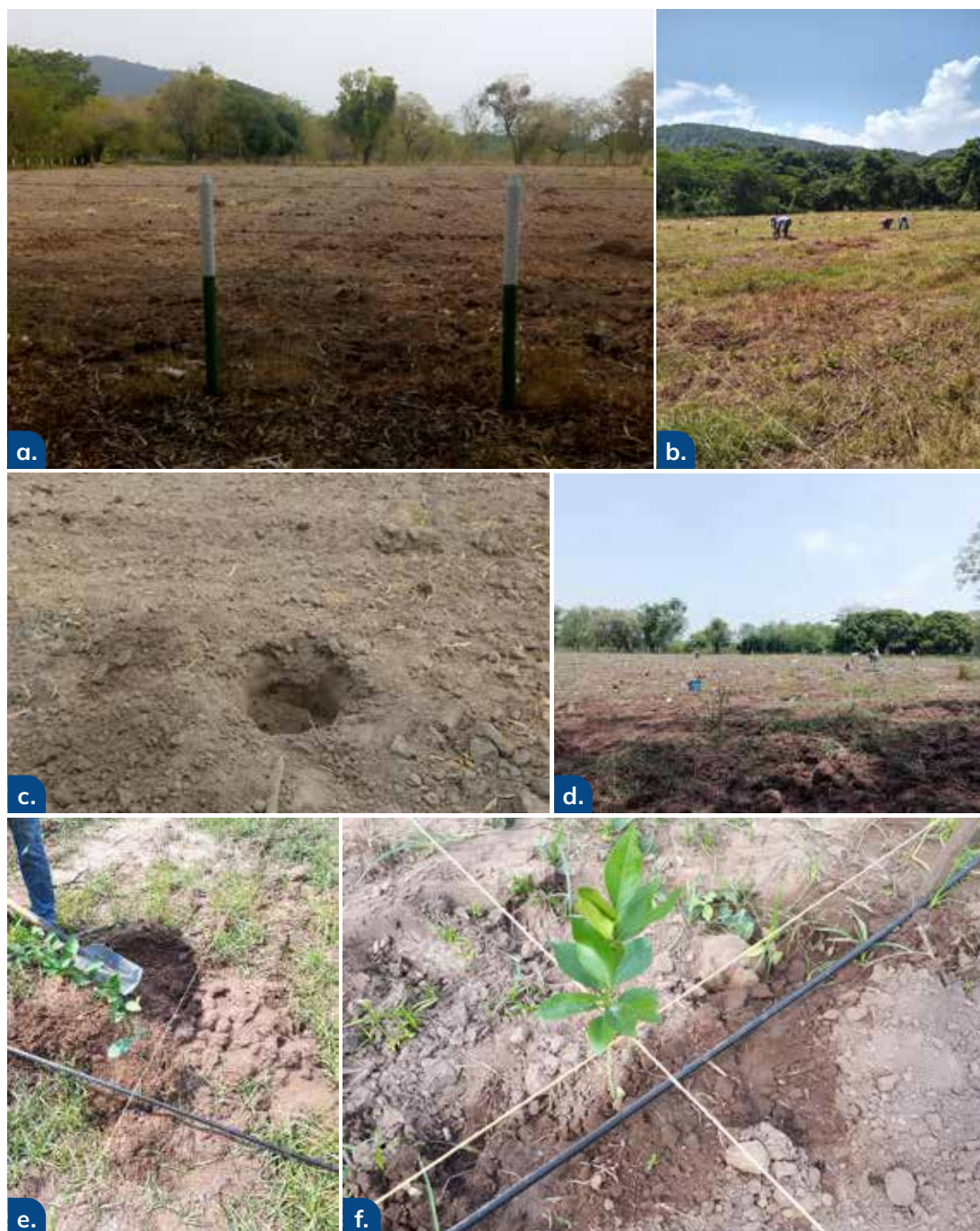


Figura 6.10. Establecimiento del cultivo de cítricos en el C. I. Motilonia.
a. Preparación del suelo; b. Trazado y estaquillado; c. Ahoyado; d-f. Trasplante.

Fotos: Luis Fernando Gómez Ramírez

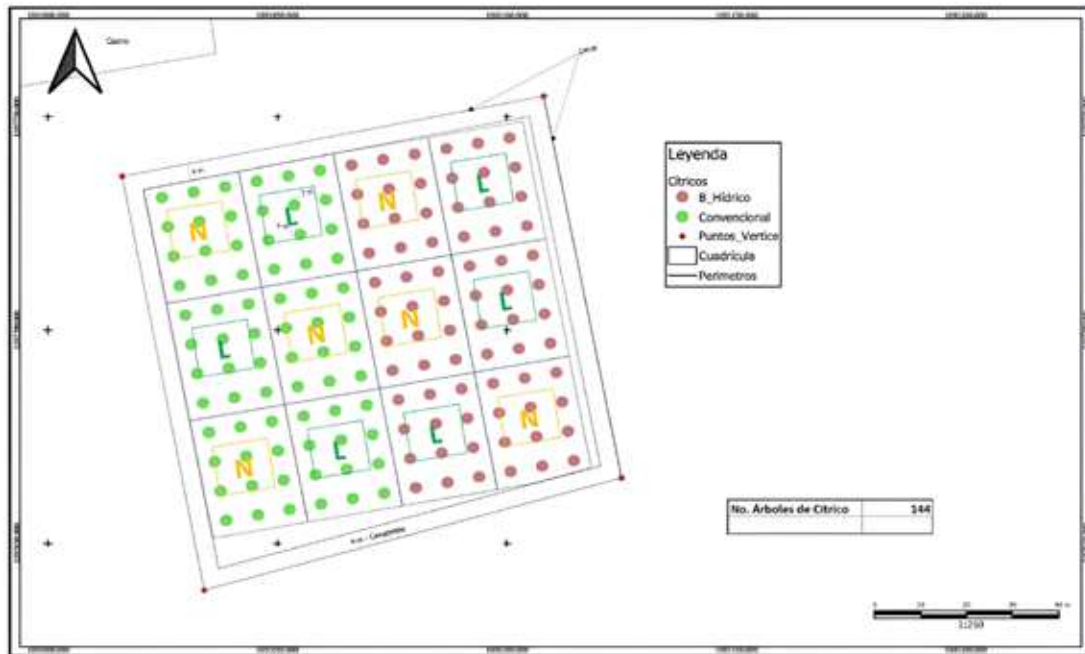


Figura 6.11. Plano de siembra de los cultivos en el C. I. Motilonia.

N: naranja; L: lima ácida (limón pajarito)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6.1. Tratamientos implementados para evaluar el efecto de la aplicación de riego basado en un BH en comparación con un riego convencional en naranja y lima ácida

Tratamiento	Descripción	Riego
T1	Naranja Valencia + CPB-4475	Riego convencional
T2	Lima ácida + <i>C. volkameriana</i>	
T3	Naranja Valencia + CPB-4475	Riego basado en BH
T4	Lima ácida + <i>C. volkameriana</i>	

Fuente: Elaboración propia



Teniendo en cuenta la información obtenida a partir de productores de la zona, se definió en el riego convencional la aplicación de un volumen de 60 L/árbol y 8 L/árbol hasta los dos años, y 70 L/árbol y 16 L/árbol a partir de los dos años, para limón y naranja, respectivamente, cada dos días (tres veces a la semana), mientras que para el tratamiento bajo BH los riegos fueron aplicados en función de la humedad gravimétrica del suelo, realizando un monitoreo diario de dicha humedad, manejando un agotamiento del 60 % con respecto a la capacidad de campo del suelo y teniendo en cuenta los eventos de precipitación, el punto de marchitez permanente y la densidad aparente del suelo; el área irrigada correspondió a la cobertura del dosel, estimada con fotografías aéreas tomadas con un dron con cámara multispectral.

Para el riego del cultivo se usó un sistema por goteo con goteros autocompensados con un caudal de 4,2 L/h, dispuestos en líneas de goteo en espiral o “cola de marrano” por cada árbol. Se utilizaron 14 goteros para los árboles de limón y 4 goteros para los árboles de naranja (figura 6.12). El sistema de riego por goteo se encontraba asociado a un minidistrito de riego que opera con una caseta de bombeo, un tanque australiano de 208 m³, una bomba de 4 hp, dos filtros de arena de 60 gpm (30 gpm cada uno) y un filtro de discos.

El funcionamiento del sistema de riego se dio mediante operación automática, gobernado mediante un controlador de referencia DREAM2 16 out AC/8 IN ++ Radio RTU System GIV, y antenas RTU comunicadas mediante señal inalámbrica. La automatización se realizó mediante un controlador AC/AC, referencia DREAM2 16 out AC/8 IN ++ GIV, soportado por un servidor que permite acceder al controlador desde cualquier parte y a cualquier hora.

Durante el desarrollo del experimento (marzo de 2022-marzo de 2023), se midieron las siguientes variables de respuesta, con una frecuencia bimensual, en cinco árboles por subparcela: diámetro del tallo (a una altura de 30 cm), altura de las plantas (desde la base del tallo hasta el ápice terminal), diámetro de la copa en sentido norte-sur (N-S) y este-oeste (E-O) y rendimiento, para el caso de lima ácida.

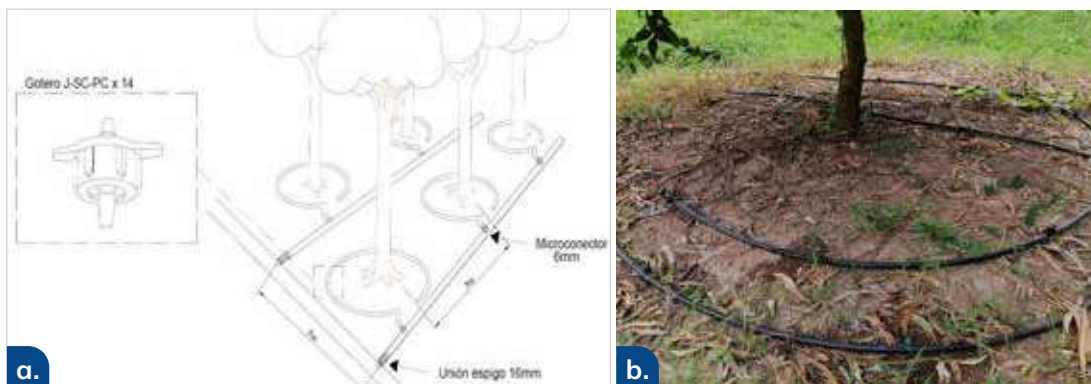


Figura 6.12. Línea de goteo en “cola de marrano” en árboles de cítricos establecidos en el C. I. Motilonia. a. Diseño del sistema de riego en el cultivo; b. Riego por goteo en campo.

Foto: Luis Fernando Gómez Ramírez. **Fuente:** Elaboración propia

Manejo agronómico del cultivo

El manejo agronómico del cultivo se realizó teniendo en cuenta las recomendaciones existentes. Antes del establecimiento de los árboles, se determinaron las características físicoquímicas del suelo con el fin de generar un plan nutricional acorde con los requerimientos nutricionales del cultivo, un plan de preparación del suelo y canales de drenajes. Como requerimientos del cultivo, se tuvieron en cuenta los datos reportados por Gómez Barros et al. (2008) (tabla 6.2). Durante el desarrollo de las plantas, se realizaron podas de formación, sanitarias y de mantenimiento, siguiendo las recomendaciones de Miranda Lasprilla (2020) y Murcia Riaño et al. (2020) (figura 6.13a). También se implementaron tutores durante el primer año de desarrollo, con el fin de promover el crecimiento erecto de las plantas (figura 6.13b).

Tabla 6.2. Requerimientos nutricionales para cítricos en el Caribe colombiano según la edad de la planta

Edad (años)	Nitrógeno (g/árbol/año)	Fósforo (g/árbol/año)	Potasio (g/árbol/año)
1	60	15	60
2	120	30	120
3	240	60	240
4	480	120	480
5	600	150	600

Fuente: Elaboración propia con base en Gómez Barros et al. (2008)



Figura 6.13. Manejo agronómico del cultivo de lima ácida. a. Poda de formación; b. Tutorado de plantas.

Fotos: Deimer Alberto Fuentes Cassiani

Por otra parte, se realizaron controles manuales, químicos y mecánicos de arvenses, retirando todas las hierbas que crecían alrededor de la base de las plantas por medio de un plateo con machete, aplicando herbicidas sobre las líneas de riego y controlando con guadaña y cortamaleza acoplado a tractor las malezas presentes en las calles y en la zona perimetral del lote (figura 6.14). Estas labores se realizaron mensualmente, y en épocas lluviosas con mayor frecuencia, para reducir la competencia por espacio, agua y nutrientes.



Figura 6.14. Manejo de arvenses en el cultivo de cítricos. a. Plateo manual; b. Control con herbicida en líneas de riego; c. Control mecánico con guadaña; d. Control mecánico con cortamaleza en calles y zonas periféricas del lote.

Fotos: Deimer Alberto Fuentes Cassiani

En cuanto a la fertilización del cultivo, durante los primeros veinte meses de desarrollo se implementó una fertilización en *drench*, dirigida a la zona de plateo de las plantas. Las fertilizaciones se hicieron de manera fraccionada, aplicando 3 L/árbol cada 45 días, con una mezcla de cloruro de potasio (KCl) y sulfato de amonio (SAM), de acuerdo con el plan nutricional generado (véase, más adelante, el apartado “Resultados obtenidos”), teniendo en cuenta los análisis de suelos y los requerimientos del cultivo.



Una vez establecidos el minidistrito de riego (marzo de 2022), el sistema de riego por goteo y el sistema de fertirrigación, se inició con las fertilizaciones a través del sistema de riego (fertirriego) siguiendo el mismo plan nutricional. El sistema de fertirriego se caracterizó por presentar una bomba *booster* con tres tanques de 250 L para las soluciones de fertilizantes (figura 6.15a) y tres columnas de inyección con inyectoros tipo *venturi* (figura 6.15b), y fue operado de manera automática mediante el controlador DREAM2 (figura 6.15c), encargado de hacer la respectiva aplicación de un volumen de fertilizante por metro cúbico de agua. La preparación de las mezclas de fertilizantes se realizó teniendo en cuenta su solubilidad. Para su aplicación, se definieron y programaron las tasas de inyección (entre 1 y 8 L/m³), de acuerdo con los volúmenes por depositar.

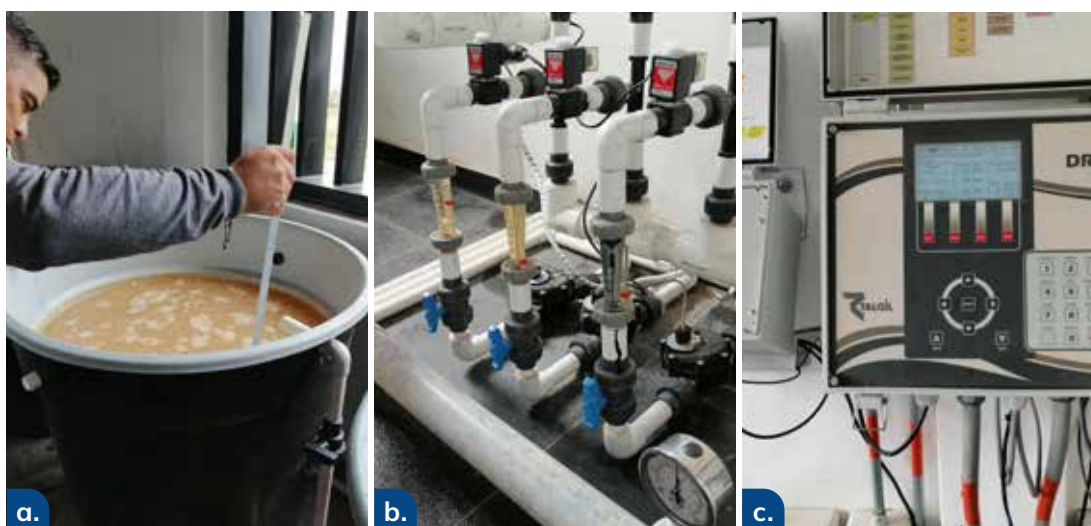


Figura 6.15. Fertirrigación en el cultivo de cítricos. a. Preparación de la solución de fertilizantes; b. Sistema de inyección con tres inyectoros tipo *venturi*; c. Controlador DREAM2 para la programación automática del fertirriego.

Fotos: Luis Fernando Gómez Ramírez

Manejo de plagas y enfermedades en el cultivo

Con respecto al manejo de plagas y enfermedades en el cultivo, se realizaron monitoreos semanales de los árboles con el fin de determinar su incidencia/severidad en las parcelas evaluadas e implementar métodos para su control. Los monitoreos se realizaron por observación directa de la presencia/ausencia de signos o síntomas, en el caso de las enfermedades, y de la población o el daño asociado, en el caso de las



plagas. Las plagas y enfermedades monitoreadas, teniendo en cuenta su importancia en la zona, fueron las siguientes: en cuanto a plagas, psílido asiático de los cítricos (*D. citri*), minador de la hoja (*P. citrella*), áfidos (*Aphis* spp.), ácaros, hormigas y termitas, y en cuanto a enfermedades, antracnosis (*Colletotrichum* spp.), gomosis (*Phytophthora* spp.) y huanglongbing (HLB). En caso de presentarse otras plagas y enfermedades, se realizó el respectivo registro para su seguimiento.

Para la implementación de medidas de control, se tomó como base el resultado de la incidencia de cada agente causal con respecto a los umbrales reportados: para minador, el 30 % de las hojas jóvenes con minas activas, entre el 15 y el 25 % del área foliar afectada o el 50 % de los brotes afectados (León, 2001; Liu et al., 2008); para áfidos, el 20-25 % de los brotes afectados (Hermoso de Mendoza et al., 2001, 2006); para el psílido asiático (*D. citri*), cinco adultos por árbol (Miranda-Ramírez et al., 2021); para ácaros, 3-5 individuos/cm² de la superficie muestreada (Hall et al., 1994); para termitas, cuando se detectaron en los troncos o las raíces de los árboles (León & Kondo, 2017), y para hormigas, cuando se detectaron defoliaciones en las plantas y hormigueros cercanos (León & Kondo, 2017). En el caso de las enfermedades, se tuvieron en cuenta umbrales del 20 % de flores o brotes afectados para antracnosis y presencia del mínimo síntoma para gomosis y HLB (Murcia Riaño et al., 2020).

En los casos en los que se alcanzaron los umbrales, se realizó un manejo químico mediante la aplicación de insecticidas: abamectina en rotación con tiametoxam + lambdacialotrina para el control del minador de la hoja; abamectina para ácaros; imidacloprid y sulfoxaflor para áfidos; tiametoxam + lambdacihalotrina y sulfoxaflor para psílido (*D. citri*); clorpirifós + atrayente para el control de hormigas o aplicado en forma líquida en nidos, y cipermetrina para termitas. Adicionalmente, se hicieron aplicaciones preventivas de un bioproducto a base de *B. bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *L. lecanii* y *Bacillus thuringiensis*, con el fin de mantener una población alta de estos microorganismos biocontroladores en el cultivo, para que ejercieran un control una vez *D. citri* y otras plagas aparecieran.

Por su parte, para el control de la antracnosis, se utilizó azoxistrobin, benomilo, propineb y caldo bordelés en rotación; para gomosis, se realizó un raspado en la zona afectada y se aplicó pasta a base de fosetil de aluminio o caldo bordelés; para HLB, se realizó la prueba de yodo sugerida por Varón Devia et al. (2020), y frente a resultados positivos, se siguieron las recomendaciones estipuladas en la Resolución 1668 de 2019 del ICA (2019b).



Resultados obtenidos

Durante la fase experimental se evaluaron los tratamientos simulando el manejo convencional en relación con la aplicación del riego y el tratamiento con BH; en este apartado se describen los resultados obtenidos.

Plan de fertilización del cultivo

Según el análisis de fertilidad, el suelo presentó una textura franco-arcillo-arenosa, un pH ligeramente ácido y una conductividad eléctrica dentro del rango admisible para cítricos, un moderado contenido de materia orgánica (según la zona), un moderado contenido de bases como Ca, Mg y K, un alto contenido de Fe, Mn y P, y un moderado contenido de B y S. Los resultados del análisis del suelo se encuentran en el capítulo I.

De acuerdo con el análisis del suelo y el requerimiento del cultivo, se determinó que el suelo suple dichos requerimientos nutricionales, por lo que no fue necesario hacer fertilización; sin embargo, con el fin de no deteriorar las propiedades del suelo y no agotar los nutrientes, se aplicó un 100 % de las necesidades de N, K y Mg. Adicionalmente, se incluyó la aplicación de fertilización foliar para suplir los requerimientos de elementos menores y complementar la fertilización edáfica. El plan de fertilización generado se muestra en la tabla 6.3. Es importante aclarar que este plan fue susceptible de cambios y ajustes a lo largo del desarrollo del cultivo, dependiendo de la etapa fenológica y la observación de síntomas de deficiencias nutricionales en este.



Tabla 6.3. Plan de fertilización para el cultivo de cítricos durante los primeros tres años de desarrollo

Fertilizante/enmienda	Fertilización para 144 árboles													
	Año 1			Año 2			Año 3							
	Siembra	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	
Materia orgánica (kg/árbol)	2													
Fertilizante edáfico compuesto (8% N, 5% P ₂ O ₅ , 18% Ca, 6% Mg, 1,6% S, 1% B, 0,14% Cu, 0,005% Mo, 2,5% Zn) (g/árbol)	5													
SAM (fertilirriego) (kg/ha)		11,3	11,3	11,3	11,3	21,3	21,3	21,3	21,3	7,5	7,5	7,5	7,5	
KCl (fertilirriego) (kg/ha)		3,8	3,8	3,8	3,8	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	
Sulfato de Mg (fertilirriego: 16% de Mg) (kg/ha)		10				10				10				
Fertilizante foliar compuesto (N 200 g/L, P ₂ O ₅ 100 g/L, K ₂ O 50 g/L, S 14 g/L, MgO 10 g/L, Mn 1 g/L, Cu 2,5 g/L, Fe 1 g/L, B 1,5 g/L, Mo 0,03 g/L, Zn 5 g/L) (L/ha)			0,3		0,5	0,5		0,5			0,5		0,5	
Fertilizante compuesto soluble para fertilirriego (1% N, 6% P ₂ O ₅ , 39% K ₂ O, 0,03% B, 0,02% Cu, 0,03% Fe, 0,02% Mn, 0,03% Mo) (kg/ha)										12,5	12,5	12,5	12,5	

Fuente: Elaboración propia



Riego convencional vs. riego con BH

En el experimento comparativo entre la aplicación de un riego convencional y un riego basado en un BH en ambos cultivos, se identificó que entre marzo y diciembre de 2022 se aplicó en lima ácida un acumulado de 4.356,2 y 3.983,3 L de agua/árbol para los tratamientos convencional y de BH, respectivamente, mientras que para naranja se aplicaron 712,0 y 796,9 L/árbol. Sin embargo, entre enero y marzo de 2023, los volúmenes acumulados aplicados en limón fueron de 2.260,9 y 3.225,1 L/árbol para el tratamiento convencional y el BH, y para naranja fueron de 610,5 y 921,5 L/árbol para el tratamiento convencional y el BH, respectivamente, lo que incrementó el promedio mensual de riego aplicado por árbol en los tratamientos bajo BH durante el periodo de evaluación, aunque este incremento no fue estadísticamente significativo ($p > 0,05$) (tabla 6.4). Este incremento estuvo asociado a la reducción de las precipitaciones (con un promedio inferior a los 50 mm) y al incremento de la evaporación (que osciló entre 5,2 y 7,7 mm) entre diciembre de 2022 y marzo de 2023 (época de sequía) (figura 6.16), lo que derivó en la aplicación de riegos con mayor frecuencia, teniendo en cuenta la humedad gravimétrica del suelo, mientras que en el manejo convencional se mantuvieron la frecuencia y los volúmenes aplicados.

Tabla 6.4. Comparación del riego aplicado en los tratamientos convencional y BH, en el cultivo de cítricos, durante el periodo de evaluación

Año	Mes	Riego aplicado (L de agua/árbol)			
		Lima ácida		Naranja	
		BH	Convencional	BH	Convencional
2022	Marzo	825,0	670,8	117,9	95,8
	Abril	223,1	196,0	31,9	28,0
	Mayo	337,0	443,3	48,1	63,3
	Junio	0,0	0,0	0,0	0,0
	Julio	370,4	536,7	52,9	76,7
	Agosto	259,3	441,0	37,0	63,0
	Septiembre	269,6	263,7	38,5	37,7
	Octubre	63,9	330,2	9,1	47,2
	Noviembre	39,7	487,5	5,7	88,8
	Diciembre	1.595,3	987,0	455,8	211,5
Total 2022		3.983,3	4.356,2	796,9	712,0
2023	Enero	1.213,3	709,7	346,6	167,4
	Febrero	1.237,6	846,4	353,6	241,8
	Marzo	774,2	704,7	221,2	201,3
Total 2023		3.225,1	2.260,9	921,5	610,5



Año	Mes	Riego aplicado (L de agua/árbol)			
		Lima ácida		Naranja	
		BH	Convencional	BH	Convencional
Total acumulado		7.208,4	6.617,1	1.718,4	1.322,5
Promedio mensual		554,5	509,0	132,2	101,7
Valor p		0,7836		0,7195	

Nota: Los datos corresponden al riego acumulado mensual por cada tratamiento. No se evidenciaron diferencias significativas en el promedio de riego mensual (L de agua/árbol) entre el tratamiento convencional y el BH en cada cultivo (lima ácida y naranja) según la prueba de comparación múltiple de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Fuente: Elaboración propia

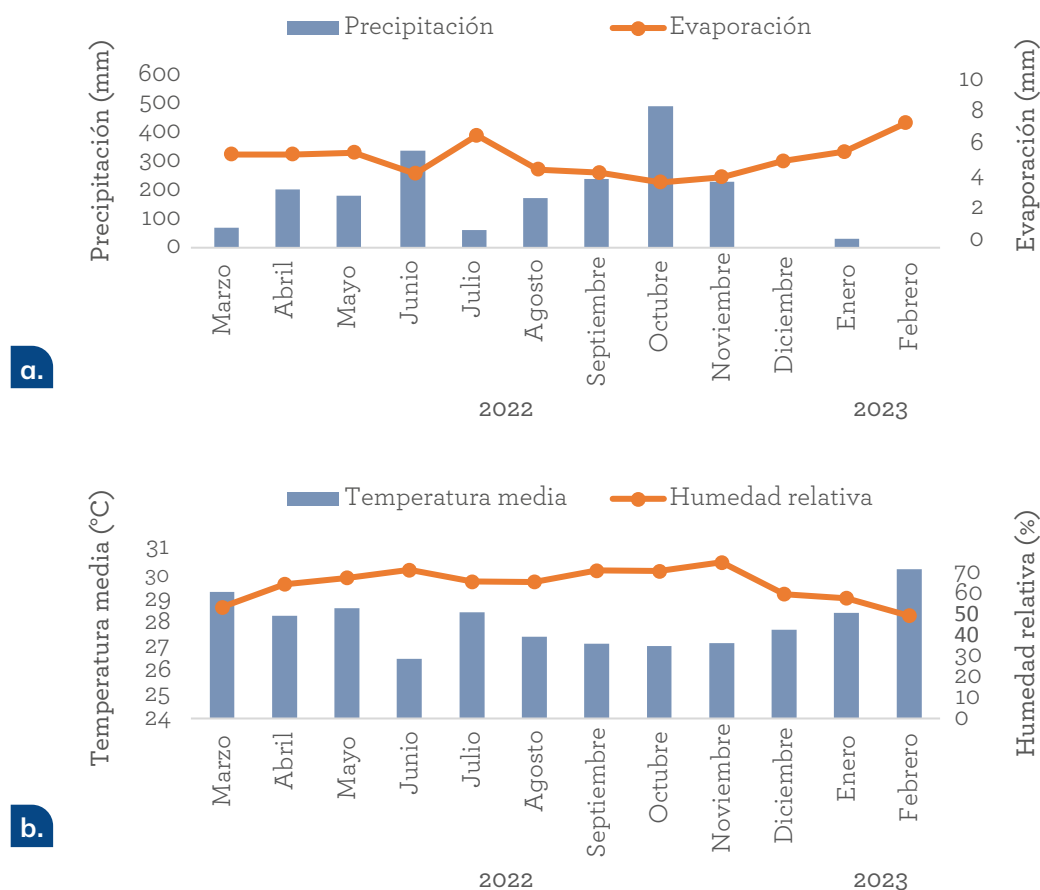


Figura 6.16. Comportamiento de variables climáticas durante el desarrollo del experimento en el C. I. Motilonia. a. Precipitación y evaporación; b. Temperatura media y humedad relativa.

Fuente: Elaboración propia



En cuanto a las variables de crecimiento, en el cultivo de lima ácida los árboles manejados bajo un BH presentaron una altura promedio de 3,14 m, superando al tratamiento convencional, que presentó una altura promedio de 2,84 m ($p = 0,0001$) (tabla 6.5). Por otra parte, al comparar el valor promedio del diámetro del tallo entre los tratamientos convencional (90,98 mm) y BH (90,00 mm), no se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas ($p = 0,4339$); sin embargo, se pudo observar un leve incremento en este parámetro en los árboles bajo BH con respecto a los árboles bajo manejo convencional en los últimos dos meses de medición (tabla 6.5).

Con respecto al diámetro de la copa en sentido N-S, no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ($p = 0,7249$) y tampoco entre la interacción tratamiento-tiempo ($p = 0,5835$), aunque sí hubo un efecto significativo en el tiempo, pues pasó de 2,92 a 3,54 m entre marzo y diciembre de 2022. En cuanto al diámetro de la copa en sentido E-O, se observó una tendencia similar, aunque en este caso sí se evidenció una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos, con valores de 3,56 m para el riego convencional y 3,39 m para BH (tabla 6.5). Sin embargo, es importante mencionar que estos dos parámetros, al igual que la altura de las plantas, fueron fuertemente influenciados por las podas de mantenimiento y sanitarias desarrolladas durante el manejo del cultivo, por lo que su comportamiento no estuvo estrictamente ligado al riego.

**Tabla 6.5. Variables de crecimiento en plantas de lima ácida durante el desarrollo del experimento**

Variable	Tratamiento (T)	2022						2023	Promedio			Valor p		
		Mes (M)										T	M	T x M
		Marzo	Junio	Agosto	Octubre	Diciembre	Febrero							
Altura de la planta (m)	Convencional	2,29 e	2,91 bcd	2,97 bcd	2,89 cd	3,09 bcd	2,88 d	2,84 b	0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001		
	BH	2,34 e	3,24 abc	3,23 abc	3,26 abc	3,48 a	3,27 ab	3,14 a						
	Promedio	2,31 b	3,08 a	3,10 a	3,07 a	3,28 a	3,07 a							
Diámetro del tallo (mm)	Convencional	76,18 fg	83,62 def	91,69 bcd	96,83 ab	98,14 ab	99,41 ab	90,98	0,4339	<0,0001	<0,0001	<0,0001		
	BH	73,12 g	81,56 efg	88,25 cde	94,73 abc	99,58 ab	102,77 a	90						
	Promedio	74,65 d	82,59 c	89,97 b	95,78 ab	98,86 a	101,09 a							
Diámetro de la copa N-S (m)	Convencional	2,93	3,61	3,45	3,23	3,6	3,3	3,35	0,7249	0	0,5835			
	BH	2,91	3,46	3,47	3,24	3,47	3,45	3,34						
	Promedio	2,92 c	3,53 a	3,46 a	3,24 b	3,54 a	3,38 ab							
Diámetro de la copa E-O (m)	Convencional	3,04 fg	3,78 abc	3,70 abcd	3,43 de	3,86 ab	3,54 abcde	3,56 a	0,0323	<0,0001	<0,0001	<0,0001		
	BH	2,67 g	3,54 abcde	3,34 ef	3,48 cde	3,83 a	3,49 bcde	3,39 b						
	Promedio	2,85 c	3,66 ab	3,52 b	3,46 b	3,84 a	3,52 b							

Nota: Los datos corresponden al promedio de tres réplicas experimentales y cinco réplicas muestrales (árboles) por réplica experimental, para un total de 15 árboles por cada tratamiento. Las letras diferentes indican diferencias significativas entre los niveles de cada factor (T y M) o su interacción (T × M), según la prueba de comparación múltiple de Tukey ($\alpha=0,05$).

Fuente: Elaboración propia



En cuanto al cultivo de naranja, la altura de las plantas no se vio influenciada de manera significativa ($p = 0,0721$) por los tratamientos, aunque sí se evidenciaron diferencias significativas en esta misma variable al comparar el tiempo de crecimiento, pues pasó de 1,73 m en marzo de 2022 a 2,55 m en diciembre de 2022 ($p = 0,0000$) (tabla 6.6).

El mismo comportamiento se presentó en la variable de diámetro del tallo, pues hubo un incremento significativo ($p = 0,0000$) entre marzo de 2022 y febrero de 2023, al pasar de 40,64 a 67,94 mm. En cuanto a los tratamientos, el manejo convencional presentó un mayor diámetro del tallo, con un valor de 58,30 mm, en comparación con el BH, que presentó un valor de 53,24 mm ($p = 0,0002$) (tabla 6.6). Es importante mencionar que este último efecto se venía presentando desde antes del desarrollo del experimento, por lo que puede haber otros factores que estén contribuyendo a que este parámetro presente mayores valores en el tratamiento convencional.

Por otra parte, se encontraron diferencias significativas entre el tratamiento convencional y el BH en cuanto al diámetro de la copa, con valores de 2,30 y 2,16 m en N-S y de 2,41 y 2,27 m en E-O, respectivamente (tabla 6.6). De igual manera, como era de esperarse, el factor tiempo también tuvo un efecto sobre estas variables, presentándose un incremento significativo ($p = 0,0072$ y $p = 0,0133$ para diámetro N-S y E-O, respectivamente) entre marzo de 2022 y febrero de 2023. Sin embargo, como se mencionó previamente, estos dos parámetros, al igual que la altura de las plantas, fueron fuertemente influenciados por las podas de mantenimiento y sanitarias desarrolladas durante el manejo del cultivo.



Tabla 6.6. Variables de crecimiento en plantas de naranja Valencia durante el desarrollo del experimento

Variable	Tratamiento (τ)	2022						2023	Promedio	Valor p		
		Mes (m)						Febrero		T	M	T × M
		Marzo	Junio	Agosto	Octubre	Diciembre						
Altura de la planta (m)	Convencional	1,80 de	1,81 de	2,17 bc	2,43 ab	2,62 a	2,46 ab	2,22	0,0721	0,0000	<0,0001	
	BH	1,66 e	1,83 de	2,04 cd	2,31 abc	2,48 ab	2,28 bc	2,10				
Promedio		1,73 c	1,82 c	2,11 b	2,37 a	2,55 a	2,37 a					
Diámetro del tallo (mm)	Convencional	42,91	49,20	56,85	62,83	67,67	70,36	58,30 a	0,0002	0,0000	0,9937	
	BH	38,37	45,11	52,54	56,39	61,51	65,51	53,24 b				
Promedio		40,64 d	47,15 d	54,69 c	59,61 bc	64,59 ab	67,94 a					
Diámetro de la copa N-S (m)	Convencional	1,61	2,08	2,38	2,39	2,69	2,66	2,30 a	0,0072	0,0000	0,6868	
	BH	1,63	2,02	2,18	2,22	2,46	2,47	2,16 b				
Promedio		1,62 c	2,05 b	2,28 b	2,31 b	2,57 a	2,57 a					
Diámetro de la copa E-O (m)	Convencional	1,63	2,13	2,53	2,59	2,89	2,72	2,41 a	0,0133	0,0000	0,7113	
	BH	1,60	2,09	2,20	2,44	2,74	2,53	2,27 b				
Promedio		1,61 d	2,11 c	2,36 bc	2,52 b	2,82 a	2,62 ab					

Nota: Los datos corresponden al promedio de tres réplicas experimentales y cinco réplicas muestrales (árboles) por réplica experimental, para un total de 15 árboles por cada tratamiento. Las letras diferentes indican diferencias significativas entre los niveles de cada factor (T y M) o su interacción (T x M), según la prueba de comparación múltiple de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Fuente: Elaboración propia



A nivel productivo, en lima ácida se observó un mayor rendimiento promedio en los árboles manejados bajo un BH (620,68 kg/ha) que en los de manejo convencional (589,50 kg/ha), con un incremento equivalente al 5,3 %, aunque sin diferencias estadísticamente significativas ($p=0,9699$) (tabla 6.7). Dicho rendimiento fue mayor en el mes de junio de 2022, con un valor promedio de 1.599,36 kg/ha, el cual fue reduciéndose gradualmente entre los meses de julio de 2022 y enero 2023, hasta alcanzar un rendimiento inferior a los 100 kg/ha en este último mes (tabla 6.7). Esta reducción obedeció en gran medida a la alta incidencia (55,5 %) de antracnosis en el cultivo entre los meses de julio y noviembre de 2022 (véase, más adelante, el apartado “Incidencia de plagas y enfermedades”), afectando fuertemente las flores y frutos jóvenes.

El mismo comportamiento fue observado en el número promedio de frutos por hectárea, el cual osciló entre 42.256,24 y 1.306,60 frutos en junio de 2022 y enero de 2023, respectivamente. En este parámetro no se presentaron diferencias significativas entre el manejo convencional y el BH; sin embargo, hacia el mes de junio, los árboles bajo BH presentaron el pico más alto de producción, con 47.845,80 frutos/ha, superando el pico máximo de producción con el tratamiento convencional (36.666,67 frutos/ha) en un 30,5 % (tabla 6.7).

Por último, el peso promedio del fruto se vio favorecido por el riego basado en un BH, presentando un valor de 42,72 g, comparado con los 40,74 g con el tratamiento convencional ($p=0,0410$) (tabla 6.7). Este peso fue incrementando gradualmente entre mayo de 2022 y enero de 2023, alcanzado un valor promedio de 49,53 g en este último mes (tabla 6.7).



Tabla 6.7: Variables de producción en plantas de lima ácida durante el desarrollo del experimento

Variable	Tratamiento (T)	2022						2023	Valor p			
		Mes (M)						Promedio	T	M	T x M	
		Mayo	Junio*	Julio	Agosto	Septiembre*	Octubre					Enero
Rendimiento (kg/ha)	Convencional	656,43 abc	1.359,22 a	747,39 a	720,51 a	540,74 abcd	46,32 d	55,88 cd	589,50	0,9699	0,0000	0,0035
	BH	422,38 abcd	1.839,50 a	686,45 ab	696,49 ab	553,46 abcd	73,71 bcd	72,77 cd	620,68			
Promedio		539,41 b	1.599,36 a	716,92 ab	708,50 ab	547,10 ab	60,01 c	64,33 c				
Número promedio de frutos/ha	Convencional	19.710,88	36.666,67	19.302,72	19.019,27	12.704,08	1.088,44	1.111,11	15.657,60	0,8741	<0,0001	0,9344
	BH	10.481,86	47.845,80	18.027,21	17.086,17	12.942,18	1.609,98	1.502,27	15.642,21			
Promedio		15.096,37 b	42.256,24 a	18.664,97 ab	18.052,72 ab	12.823,13 b	1.349,21 c	1.306,69 c				
Peso promedio del fruto (g)	Convencional	33,18	38,07	38,83	38,36	44,34	43,09	49,28	40,74 b	0,0410	0,0000	0,2792
	BH	40,59	39,08	39,32	40,84	43,07	46,34	49,77	42,72 a			
Promedio		36,89 d	38,57 cd	39,07 cd	39,60 bcd	43,71 bc	44,72 ab	49,53 a				

* Dos cosechas en el mes

Nota: Los datos corresponden al promedio de tres réplicas experimentales y doce réplicas muestrales (árboles) por réplica experimental, para un total de 36 árboles por cada tratamiento. Las letras diferentes indican diferencias significativas entre los niveles de cada factor (T y M) o su interacción (T x M), según la prueba de comparación múltiple de Tukey ($\alpha=0,05$).

Fuente: Elaboración propia



Incidencia de plagas y enfermedades

Durante el desarrollo del experimento, la plaga con mayor incidencia promedio en lima ácida fue el ácaro, con un 10,99 %, aunque su pico de mayor incidencia se presentó en julio de 2022, con un 32,83 %. Le siguió el minador de la hoja, con un 2,86 %, y escamas, con un 1,41 %, con picos máximos de incidencia en enero de 2023 (22,6 %) y junio de 2022 (3,48 %), respectivamente. En menor medida, se encontraron áfidos (0,39 %), *Compsus* sp. (picudo de los cítricos) (0,39 %), *Euryscopa* sp. (0,27 %), mosca blanca (0,27 %) y *Trigona* sp. (0,07 %). Durante este periodo no se reportó la presencia de *D. citri* ni afectación por hormiga arriera (figura 6.17).

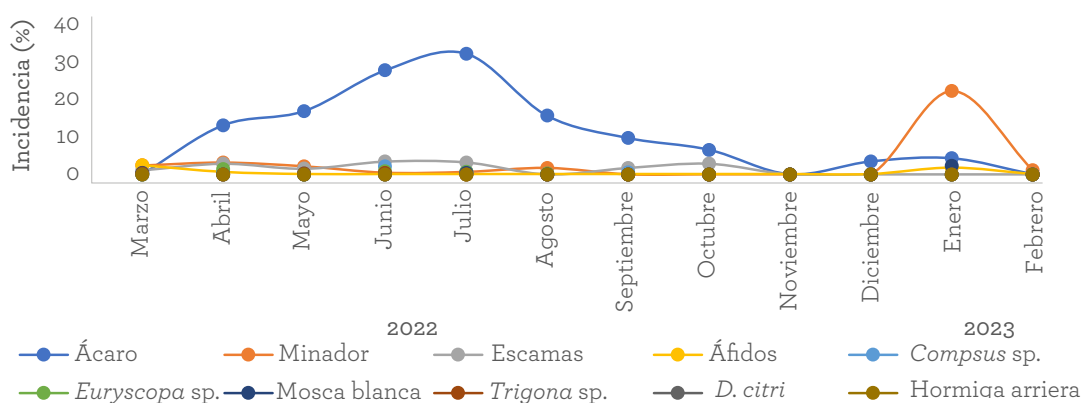


Figura 6.17. Incidencia de plagas en el cultivo de lima ácida durante el periodo de evaluación.

Fuente: Elaboración propia

En naranja, las plagas de mayor incidencia promedio fueron el minador de la hoja, ácaros y áfidos, con porcentajes del 7,53, 6,02 y 3,38 %, presentando picos máximos de incidencia en los meses de agosto, diciembre y noviembre de 2022, con el 24,80 %, 22,67 % y 11,52 %, respectivamente. En menor medida, se observó la presencia de *Trigona* sp., *Compsus* sp., escamas y *Euryscopa* sp., con porcentajes de incidencia promedio menores al 3 %, mientras que la mosca blanca, la hormiga arriera y *D. citri* presentaron una incidencia promedio menor al 0,5 % (figura 6.18).

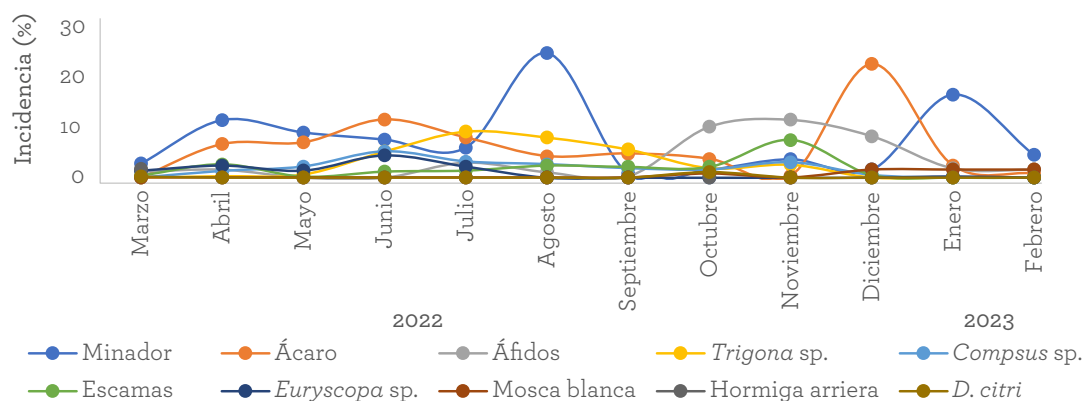


Figura 6.18. Incidencia de plagas en el cultivo de naranja Valencia durante el periodo de evaluación.

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a enfermedades, la antracnosis (*Colletotrichum* sp.) fue la de mayor importancia en lima ácida, generando importantes daños en brotes, flores y frutos pequeños. Su incidencia promedio fue del 43,48 % durante el periodo experimental, aunque sus picos máximos de incidencia se dieron en julio, agosto y noviembre de 2022, con valores promedio del 62,50 %, 62,78 % y 64,33 %, respectivamente. Con los controles realizados y la reducción en las precipitaciones, su incidencia se redujo a valores entre el 8,6 % y el 20,2 % entre diciembre de 2022 y febrero de 2023 (tabla 6.8). También se identificó la presencia de fumagina, con una incidencia del 0,65 %; seguida de gomosis (*Phytophthora* sp.), con una incidencia promedio del 0,35 %, equivalente a tres árboles afectados, y HLB, con una incidencia promedio del 0,35 %, equivalente a tres árboles afectados y erradicados de acuerdo con la Resolución 1668 del ICA (2019b), durante el periodo de evaluación (tabla 6.8).

En el cultivo de naranja, la incidencia de estas enfermedades fue mucho menor, con valores promedio de incidencia del 0,44 %, 0,17 %, 0,23 % y 0,00 % para antracnosis, fumagina, gomosis y HLB, respectivamente (tabla 6.8).

Tabla 6.8. Porcentaje promedio mensual de incidencia de enfermedades en lima ácida y naranja Valencia durante el periodo de evaluación

Cultivo	Enfermedad	2022												2023			Promedio
		Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb				
		Porcentaje de incidencia															
Lima ácida	Antracnosis	34,6	33,6	57,7	58,3	63	62,8	55	47,9	64,3	8,6	20,3	16,1	43,48			
	Fumagina	0	0	0,21	0	0	0	0,6	7,08	0	0	0	0	0,65			
	Gomosis	0	1,38	0	0	0	0	0	2,77	0	0	0	0	0,35			
	HLB	0	0	0	0	0	0	0	4,16	0	0	0	0	0,35			
Naranja Valencia	Antracnosis	2,5	2,22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,56	0,44			
	Fumagina	0	0	0	0	0	0	0,6	0	1,5	0	0	0	0,17			
	Gomosis	1,38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,38	0,23			
	HLB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			

Fuente: Elaboración propia





Conclusiones

El cultivo de cítricos constituye un sistema de producción de gran relevancia a nivel regional. Sin embargo, para su desarrollo es importante la implementación de estrategias de manejo y tecnologías que intervengan en los principales factores que limitan su productividad y rentabilidad en el departamento. El uso de materiales certificados, la implementación de sistemas de riego, un manejo nutricional y fitosanitario adecuado, un esquema de podas oportuno y prácticas de cosecha apropiadas conllevarán a mayores rendimientos en el cultivo. La disponibilidad de agua y su aplicación en las cantidades y momentos oportunos es uno de los factores más determinantes de la productividad cítrica, y una de las formas de optimizar este recurso hídrico es mediante la implementación de balances hídricos que mejoren la eficiencia en su uso, sin afectar la productividad. De igual manera, el mantenimiento de la sanidad del cultivo mediante la implementación de un manejo integrado de plagas y enfermedades, sobre todo para el control de enfermedades tan limitantes como HLB y la antracnosis, o plagas como el minador, es de gran relevancia para asegurar una buena producción.

Referencias

- Agronet. (2022). *Evaluaciones agropecuarias - (EVA) y anuario estadístico del sector agropecuario*. <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=59>
- Alarcón Restrepo, J. J., Arévalo Peñaranda, E., Díaz Jimenez, A. L., Galindo Álvarez, J. R., & Rivero Cruz, M. R. (2012). *Manejo fitosanitario del cultivo de cítricos: medidas para la temporada invernal*. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). <https://www.ica.gov.co/getattachment/18307859-8953-4a7d-8d7f-864e3f4898cf/Manejo-fitosanitario-del-cultivo-de-citricos.aspx>
- Albrigo, G., & Galán Saúco, V. (2004). Flower bud induction, flowering and fruit-set of some tropical and subtropical fruit tree crops with special reference to citrus. *Acta Horticulturae*, 632, 81-87. <http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.632.10>
- Álvarez Arango, D., & Hincapié Llanos, C. A. (2021). Selección de tecnologías adaptables para la cosecha de cítricos cultivados en ladera en Colombia. *Revista Mutis*, 11(2), 44-55. <https://revistas.utadeo.edu.co/index.php/mutis/article/view/Seleccion-tecnologias-adaptables-cosecha-citricos-cultivados-ladera-Colombia>



- Arcila Cardona, Á. M., Abadía Lozano, J. C., Achury Morales, R. A., Carrascal Pérez, F. F., & Yacomelo Hernández, M. J. (2013). *Manual para la identificación y manejo de termitas y otros insectos plagas de los cítricos en la región Caribe de Colombia*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/13429>
- Di Masi, S., Alcides Aguirre, M. R., Carbajo, M. S., Carrizo, B., Peralta, C., Lombardo, E., Hochmaier, V., Vazquez, D., & Mitidieri, M. S. (2021). *Plagas y enfermedades en los cultivos cítricos*. Banco Interamericano de Desarrollo. https://www.fontagro.org/new/uploads/adjuntos/MODULO_2.pdf
- Escobar Torres, W. (2008). Factores de producción y comercialización frutícola: cítricos. En G. Gómez Barros, Á. Caicedo Arana, & L. F. Gil Vallejo (Eds.), *Tecnología para el cultivo de cítricos en la región Caribe colombiana* (pp. 49-60). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Garcés Giraldo, L. F. (Ed.). (2012). *Cítricos: cultivo, poscosecha e industrialización*. Corporación Universitaria Lasallista. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/13022>
- Gómez Barros, G., Caicedo Arana, Á., & Gil Vallejo, L. F. (Eds.). (2008). *Tecnología para el cultivo de cítricos en la región Caribe colombiana*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). <http://hdl.handle.net/20.500.12324/32805>
- González, L., & Tullo, C. (2019). *Guía técnica del cultivo de cítricos*. Universidad Nacional de Asunción.
- Hall, D. G., Childers, C. C., & Eger, J. E. (1994). Spatial dispersion and sampling of citrus rust mite (Acari: Eriophyidae) on fruit in 'Hamlin' and 'Valencia' orange groves in Florida. *Journal of Economic Entomology*, 87(3), 687-698. <https://doi.org/10.1093/jee/87.3.687>
- Hermoso de Mendoza, A., Arouni, R., Belliure, B., Carbonell, E. A., & Pérez-Panadés, J. (2006). Intervention thresholds for *Aphis spiraecola* (Hemiptera: Aphididae) on citrus Clementina. *Journal of Economic Entomology*, 99(4), 1.273-1.279. <https://doi.org/10.1603/0022-0493-99.4.1273>
- Hermoso de Mendoza, A., Belliure, B., Carbonell, E. A., & Real, V. (2001). Economic thresholds for *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae) on citrus Clementina. *Journal of Economic Entomology*, 94(2), 439-444. <https://doi.org/10.1603/0022-0493-94.2.439>
- Hernández, D. R., Mateus, D., & Orduz Rodríguez, J. O. (2014). Características climáticas y balance hídrico de la lima ácida Tahití (*Citrus latifolia* Tanaka) en cinco localidades productoras de Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 8(2), 217-229. <https://doi.org/10.17584/rcch.2014v8i2.3215>
- Hernández Torres, I., Berlanga Padilla, A., López Arroyo, J. I., Loera Gallardo, J., & Acosta Díaz, E. (2007). *Evaluación de hongos entomopatógenos para el control del pulgón café de los cítricos, Toxoptera citricida (Kirkaldy), en México*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación; Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias; Centro de Investigación Regional del Noreste. <http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/6.pdf>



- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2019a). *Dispersión del HLB de los cítricos en Colombia. Factores asociados*.
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2019b, 22 de febrero). *Resolución 1668 de 2019. Por medio de la cual se declaran la enfermedad Huanglongbing (HLB) de los cítricos y su vector el insecto Diaphorina citri Kuwayama como plagas de control oficial y se establecen las medidas fitosanitarias para su manejo y control*. <https://www.ica.gov.co/getattachment/877b5bbb-0f20-4253-9f7d-7b20f03e2629/2019R01668.aspx>
- Intagri. (s.f). Riego por goteo para el cultivo de cítricos. <https://www.intagri.com/articulos/frutales/riego-por-goteo-para-el-cultivo-de-citricos>
- Kondo, T., González, G., Tauber, C., Guzmán Sarmiento, Y. C., Vinasco Mondragón, A. F., & Forero, D. (2015). A checklist of natural enemies of *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae) in the department of Valle del Cauca, Colombia and the world. *Insecta Mundi*, 457, 1-14. https://www.researchgate.net/publication/287490792_A_checklist_of_natural_enemies_of_Diaphorina_citri_Kuwayama_Hemiptera_Liviidae_in_the_department_of_Valle_del_Cauca_Colombia_and_the_world
- León, G. (2001). *Insectos de los cítricos: guía ilustrada de plagas y benéficos con técnicas para el manejo de los insectos dañinos*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- León, G., & Kondo, T. (2017). *Insectos y ácaros de los cítricos: compendio ilustrado de especies dañinas y benéficas, con técnicas para el manejo integrado de plagas* (2.ª ed.). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). <https://editorial.agrosavia.co/index.php/publicaciones/catalog/download/10/8/97-1?inline=1>
- Liu, Z. M., Meats, A., & Beattie, G. A. C. (2008). Seasonal dynamics, dispersion, sequential sampling plans and treatment thresholds for the citrus leafminer, *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera: Gracillariidae), in a mature lemon block in coastal New South Wales, Australia. *Australian Journal of Entomology*, 47(3), 243-250. <https://doi.org/10.1111/j.1440-6055.2008.00651.x>
- López, E., & Arcila, Á. M. (2008). Principales plagas de los cítricos en la región Caribe de Colombia: descripción y manejo. En G. Gómez Barros, Á. Caicedo Arana, & L. F. Gil Vallejo (Eds.), *Tecnología para el cultivo de cítricos en la región Caribe colombiana* (pp. 103-115). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Lovatt, C. J. (2000). Management of foliar fertilization. *Terra Latinoamericana*, 17(1), 257-264. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57317310.pdf>
- Martínez, M., Murcia Riaño, N., Ríos Rojas, L., Correa Moreno, D. L., Carabalí Muñoz, A., Kondo, T., Rodríguez Mora, D. M., Jaramillo, A., Mesa, N. C., & Rodríguez, I. (2019). *Prácticas de manejo sostenible para el cultivo de cítricos*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).



- Mateus-Cagua, D., & Orduz-Rodriguez, J. O. (2016). Efecto de distancias de plantación sobre el rendimiento y crecimiento vegetativo de la naranja 'Valencia' (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) en el trópico bajo húmedo de Colombia. *Orinoquia*, 20(1), 19-27. <https://doi.org/10.22579/20112629.321>
- Miranda Lasprilla, D. (2020). *Naranja* (*Citrus sinensis* [L.] Osbeck): *manual de recomendaciones técnicas para su cultivo en el departamento de Cundinamarca*. Corredor Tecnológico Agroindustrial CTA-2.
- Miranda-Ramírez, J. M., Perales-Segovia, C., Miranda-Salcedo, M. A., & Miranda-Medina, D. (2021). Insecticidas de bajo impacto ambiental para el control de *Diaphorina citri* Kuwayama, 1908 (Hemiptera: Liviidae) en limón mexicano (*Citrus aurantifolia* (Christm.) Swingle). *Revista Chilena de Entomología*, 47(4), 723-732. <https://www.biotaxa.org/rce/article/view/72831>
- Murcia Riaño, N., Martínez, M. F., Orduz-Rodríguez, J. O., Ríos-Rojas, L., López Galé, Y., Yacomelo Hernández, M. J., Carabalí Muñoz, A., Kondo, T., García Muñoz, M. C., Mesa, N. C., López González, J., Pérez Artiles, L., Rodríguez Mora, D. M., Montes Rodríguez, J. M., Betancourt Vásquez, M., Rodríguez Torres, I. V., Barreto Rojas, J. A., Tarazona Velásquez, R., Mateus Cagua, D. M., ... Rodríguez Roa, A. O. (2020). *Modelo productivo de lima ácida Tahití* (*Citrus × latifolia Tanaka ex Q. Jiménez*) para Colombia. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).
- Orduz-Rodríguez, J. O., Castiblanco, S., Calderón, C. L., & Velásquez, H. (2011). Potencial de rendimiento y calidad de 13 variedades e híbridos comerciales de cítricos en condiciones del piedemonte llanero de Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 5(2), 171-185. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/19524>
- Orduz-Rodríguez, J. O., & Mateus Cagua, D. M. (2012). Generalidades de los cítricos y recomendaciones agronómicas para su cultivo en Colombia. En L. F. Garcés Giraldo (Ed.), *Cítricos: cultivo, poscosecha e industrialización* (pp. 49-88). Corporación Universitaria Lasallista. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/13022>
- Páez, F. C., Baeza, R. J., & Fernández, M. M. (2016). *Técnicas de quimigación. Aplicación de productos fitosanitarios mediante riego por goteo en hortícolas bajo invernadero*. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. <https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/servifapa/registro-servifapa/e1b52be2-15f2-489a-bdcc-6b244fd94154>
- Páez Redondo, A., & Gil Vallejo, L. F. (2008). Manejo integrado de enfermedades de los cítricos. En G. Gómez Barros, Á. Caicedo Arana, & L. F. Gil Vallejo (Eds.), *Tecnología para el cultivo de cítricos en la región Caribe colombiana* (pp. 129-146). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Peña, J. E., Hunsberger, A., & Schaffer, B. (2000). *Citrus leafminer* (Lepidoptera: Gracillariidae) density: Effect on yield of 'Tahiti' lime. *Journal of Economic Entomology*, 93(2), 374-379. <https://doi.org/10.1603/0022-0493-93.2.374>



- Peralta, C., Giancola, S., Lombardo, E., Mika, R., & Carbajo, M. S. (2021). *Introducción al manejo integrado de plagas, monitoreo de plagas en cítricos y fenología del cultivo*. Fontagro. https://www.fontagro.org/new/uploads/adjuntos/MODULO_1.pdf
- Pérez-Artiles, L., Guarín, J. H., Rubiano, J. A., Builes, S., Kondo, D. T., Porcel, M., Rodríguez, D. M., Castillo, G. P., González, C. E., Montes, J. M., Varón, E. H., Arcila, A. M., León, G., Fernández, M., & Hernández, J. F. (2018). *Tecnologías para el manejo integrado del patosistema Diaphorina citri - HLB en el cultivo de los cítricos en Colombia*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).
- Pérez-Pérez, J. G., Bonet, J., & Quiñones, A. (2020). Nuevos retos para el riego y la fertilización. En J. M. García Álvarez-Coque, & E. Moltó García (Coords.), *Una hoja de ruta para la citricultura española* (pp. 215-225). Cajamar Caja Rural. <https://digital.csic.es/bitstream/10261/233408/5/Libro%20Una%20hoja%20de%20ruta%20para%20la%20citricultura%20espa%C3%B1ola.pdf>
- Pinto Zapata, M. J. (2008). Consideraciones sobre cosecha y poscosecha en cítricos. En G. Gómez Barros, Á. Caicedo Arana, & L. F. Gil Vallejo (Eds.), *Tecnología para el cultivo de cítricos en la región Caribe colombiana* (pp. 49-60). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Rojas-Gutiérrez, R. L., Loza-Murguía, M., Vino-Nina, L., & Serrano-Canaviri, T. (2017). Capacidad biocontroladora de *Beauveria brongniartii* (Sacc.) y *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) en el control de pulgones *Macrosiphum euphorbiae* (Hemiptera: Aphididae). *Journal of the Selva Andina Research Society*, 8(1), 48-68. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=361349918004>
- Sabogal, J. S. (2015). *Evaluación de la huella hídrica para el cultivo de naranja (Valencia) en un predio del municipio de Puerto López-Meta* [tesis de grado, Universidad de La Salle]. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/290/
- Shalhevet, J., & Levy, Y. (1990). Citrus trees. En B. A. Stewart, & D. R. Nielsen (Eds.), *Irrigation of agricultural crops* (pp. 951-986). American Society of Agronomy.
- Varón Devia, E. H., Pérez Artiles, L., Humberto Guarín, J., Rodríguez Polanco, E., Vargas Berdugo, Á. M., Kondo Rodríguez, D. T., Flórez Cárdenas, C. M., Rico Sierra, E. M., & Bermeo Fúquene, P. A. (2020). *Métodos de detección de HLB y de monitoreo y control biológico del vector Diaphorina citri en cultivos de cítricos en el Tolima*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). https://www.agrosavia.co/media/hdvisbg3/ver_documento_36478.pdf
- Vélez, J. E., Álvarez-Herrera, J. G., & Alvarado-Sanabria, O. H. (2012). El estrés hídrico en cítricos (*Citrus* spp.): una revisión. *Orinoquia*, 16(2), 32-39. <https://www.redalyc.org/pdf/896/89626049005.pdf>
- Vicent, A., Botella-Rocamora, P., López-Quílez, A., De la Roca, E., Bascón, J., & García-Jiménez, J. (2012). Relationships between agronomic factors and epidemics of *Phytophthora* branch canker of citrus in southwestern Spain. *European Journal of Plant Pathology*, 133(3), 577-584. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10658-011-9930-z>



Capítulo VII.

Análisis comparativo de los retornos económicos en los sistemas de producción priorizados entre la tecnología local y el uso del riego en el Centro de Investigación Motilonia de AGROSAVIA

Antonio María Martínez Reina, Carina Cecilia Cordero Cordero, Paola Vanessa Sierra-Baquero, Luis Fernando Gómez Ramírez, José Edwin Mojica Rodríguez, Milton Rivera Rojas y Claudia Maricel Ipaz Cuastumal



Introducción

En este capítulo se realiza un análisis económico de los sistemas de producción priorizados: mango, cítricos, cultivos forrajeros y sistemas silvopastoriles, los cuales tuvieron lugar en el departamento del Cesar, en Colombia, para lo cual se consideran dos situaciones: la tecnología local en comparación con la opción tecnológica que incluye el uso del riego.

A manera de justificación se menciona que, al revisar la literatura, no se encontró un estudio que documente los retornos económicos de los sistemas de producción para esta región, por lo que se procedió a construir una línea de base que permitiera comparar los retornos económicos (Martínez-Reina et al., 2021) una vez las opciones tecnológicas son incorporadas en estos sistemas.

La información sobre el uso del sistema de riego se obtuvo a partir del componente biofísico del proyecto, cuyos datos se fueron registrando en la medida que avanzaban las actividades. En algunos casos, como los cítricos y el mango, no fue posible obtener información de los ciclos completos, por lo que fue necesario considerar promedios y tasas de crecimiento, tanto en precios como en cantidades, para tener datos cercanos a la realidad. Se deja claro que los datos de los experimentos se extrapolaron a una hectárea por año, tanto para los cálculos de los ingresos como para los costos.

El documento está conformado por tres partes: en la primera se presentan los indicadores de retorno de los sistemas de producción manejados de forma convencional; en la segunda se hacen los análisis comparativos de los retornos económicos una vez se han incorporado las tecnologías, y en la tercera, por último, se extraen unas ideas a manera de conclusión.



Materiales y métodos

El análisis económico de las tecnológicas para los cultivos con el uso eficiente del agua parte de dos situaciones: una, con la tecnología local o con las prácticas convencionales, las que realiza el productor (“sin proyecto”), y la otra, con las opciones tecnológicas que generó el proyecto, es decir, con las tecnologías propuestas en los diferentes sistemas productivos y que puedan recomendarse una vez validadas en campo (“con proyecto”). Esto permite comparar y sacar conclusiones acerca de la bondad económica de estos modelos y la factibilidad de implementarlos. Para las dos situaciones se calculan los costos variables y los ingresos netos, para determinar los incrementales obtenidos por efecto del uso de las opciones tecnológicas generadas a partir de la investigación biofísica y establecer los indicadores de retorno, con el fin de determinar la recuperación del capital invertido en las tecnologías (Cimmyt, 1998).

El análisis consta de las siguientes variables: costos totales de producción, costo unitario de producción, ingresos brutos, ingresos netos, rentabilidad, relación beneficio-coste y punto de equilibrio (Krugman & Wells, 2006) (tabla 7.1). Las fuentes de información fueron los patrones de costos que se levantaron por consenso con participación de los agricultores, con el apoyo de los investigadores biofísicos del C. I. Motilonia, información recolectada en 2019. La tabla 7.1 presenta los parámetros usados en el análisis, de acuerdo con Martínez-Reina et al. (2019):w



Tabla 7.1. Parámetros para el cálculo de los costos de producción y los indicadores de retorno de los sistemas de producción priorizados en el departamento del Cesar

Ecuación	Donde
$\sum_{Cd=0}^n Cd = Cd1 + Cd2 + Cd3 + \dots + Cdn$	Cd: costos directos; Cd ₁ : semillas; Cd ₂ : agroquímicos; Cd ₃ : jornales, etc.
$\sum_{Ci=0}^n Ci = Ci1 + Ci2 + Ci3 + \dots + Cin$	Ci: costos indirectos; Ci ₁ : alquiler del terreno; Ci ₂ : costos financieros; Ci ₃ : otros, etc.
$CP = Cd + Ci$	CP: costos de producción; Cd: costos directos; Ci: costos indirectos
$\sum_{Rdo=0}^n Rdo = PC1 + PC2 + PC3 + \dots + PCn$	Rdo: rendimiento; PC ₁ : producción total de kilos, litros o unidades por hectárea
$CU = \frac{CP}{Rdo}$	CU: costos unitarios; CP: costos de producción; Rdo: rendimiento en kilos, litros o unidades
$IB = Rdo * PV$	IB: ingresos brutos; Rdo: rendimiento; PV: precio de venta de la producción en kilos, litros o unidades producidas
$IN = IB - CP$	IN: ingresos netos; IB: ingresos brutos; CP: costos de producción
$RT = \frac{IB - Cd}{Cd} * 100$	RT: rentabilidad técnica; IB: ingreso bruto; Cd: costos directos
$RN = \frac{IB - CP}{CP} * 100$	RN: rentabilidad neta; IB: ingreso bruto; Cd: costos de producción
$P_{eq} = \frac{CP}{PV}$	P _{eq} : punto de equilibrio; CP: costos de producción; PV: precio de venta
$PP_{eq} = \frac{CP}{IB} * 100$	PP _{eq} : porcentaje del punto de equilibrio; CP: costos de producción; IB: ingresos brutos
$VPN = \frac{IB - CT}{(1 + i)^n}$	VPN: valor presente neto; IB: ingresos brutos; CT: costos totales; i = tasa de interés; n: número de periodos
$TIR = \frac{(IB - CT)}{(1 + TIR)^n}$	TIR: tasa interna de retorno; IB: ingresos brutos; CT: costos totales; n = número de periodos

Fuente: Elaboración propia



Para los costos de producción se usó el método del consenso, de acuerdo con Agreda et al. (1991), a través de expertos en el manejo de los sistemas de producción, entendidos como aquellos agricultores que por su tradición y experiencia conocen las particularidades, el manejo agronómico, las actividades culturales y en general todo el proceso de producción en la unidad productiva. La dinámica del ejercicio se presenta en la figura 7.1.

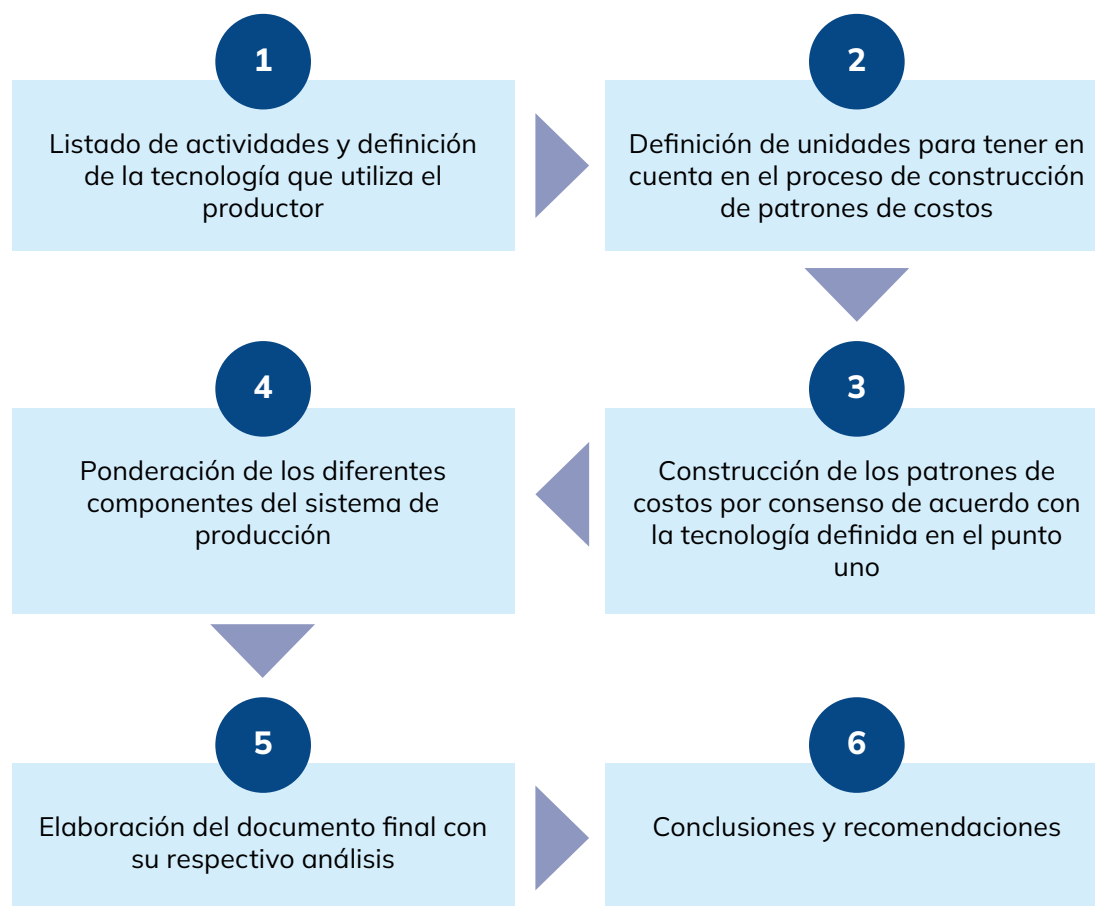


Figura 7.1. Esquema metodológico participativo para la estimación de patrones de costos e indicadores económicos en sistemas productivos agropecuarios.

Fuente: Elaboración propia con base en Agreda et al. (1991)

Con la ayuda de un formato en Excel, se tomó la información y se organizó en una estructura en el orden lógico en que ocurren las actividades, de acuerdo con Martínez-Reina et al. (2019), siguiendo a Quijandría et al. (1990). Además, se hizo uso de las metodologías y técnicas de evaluación de proyectos agropecuarios (Puentes Montañez, 2011), así como



lo recomendado cuando se trata de evaluar alternativas de inversión en casos prácticos (López Soto, 1997).

Resultados

En este apartado se presentan los análisis comparativos entre dos situaciones: la primera, la tecnología local de producción usada por el productor de forma convencional, obtenida en 2019 en talleres con productores de diferentes localidades del departamento del Cesar donde tienen lugar los sistemas de producción, y la segunda, basada en los cálculos hechos según la información generada por el componente biofísico del proyecto en los experimentos que se realizaron en el C. I. Motilonia de AGROSAVIA, ambas para los sistemas de producción de mango, cítricos, cultivos forrajeros y sistemas silvopastoriles. Estos datos pueden coincidir o no con información de otras condiciones o regiones del país.

Análisis comparativo por fuentes de información: fuentes secundarias frente a talleres de consenso con productores

Se tomó la información de las instituciones (fuentes secundarias) y se comparó con la obtenida en los consensos, como una forma de validar los datos; al respecto, si bien se encontraron diferencias, el ejercicio permitió reafirmar la información como se presenta en la tabla 7.2.

Tabla 7.2. Análisis comparativo entre las fuentes secundarias y el ejercicio de consenso con productores para una hectárea de cada sistema de producción

Sistema de producción	Rendimiento		Ingreso neto (cop/ha)		Rentabilidad (%)	
	Fuentes secundarias	Consenso	Fuentes secundarias	Consenso	Fuentes secundarias	Consenso
Maíz para ensilaje (t/ha)	35	30	683.820	1.795.125	13	43
Mango (t/ha)	8,3	31	661.270	6.124.696	25	94,5
Sorgo (t/ha)	30	57	845.410	1.649.235	16,4	17
Cítricos (unidad)	150.000	108.000	1.111.000	2.042.743	22,7	86,8



Sistema de producción	Rendimiento		Ingreso neto (COP/ha)		Rentabilidad (%)	
	Fuentes secundarias	Consenso	Fuentes secundarias	Consenso	Fuentes secundarias	Consenso
Bovinos DP (kg/ha)	1.350	1.420	1.682.674	1.997.674	32	38
Bovinos para carne (kg/ha)	1.350	1.430	1.068.621	1.428.621	21	29
Bovinos para leche (L/ha)	4.800	4.536	840.416	571.496	26,32	17,8
Sistema silvopastoril para carne (kg/ha)	540	540	748.375	914.325	18	21,74
Sistema silvopastoril para leche (L/ha)	2.542	2.542	2.542			

DP: doble propósito

Fuente: Elaboración propia con base en cálculos del componente económico y en información biofísica de AGROSAVIA de 2020

Los análisis comparativos del retorno económico de los sistemas de producción para una hectárea muestran que, para el maíz para ensilaje, el ingreso neto fue COP 1.111.305 mayor en los consensos con productores que con la información de fuentes secundarias. En el caso del sistema de producción de mango, el ingreso neto fue COP 5.463.426 mayor en la información de los talleres que con la información secundaria. Para el caso del sorgo para ensilaje, fue COP 803.825 mayor en la información de los talleres con productores que con la información de fuentes secundarias. Con relación al cultivo de naranja en Chimichagua, se evidencia que el ingreso neto fue COP 931.743 mayor en la información del consenso que con la información de las fuentes secundarias.

Para bovinos de doble propósito, el ingreso neto fue COP 315.000 mayor en los consensos que con la información de fuentes secundarias. Para el caso de bovinos para carne, el ingreso neto fue COP 360.000 mayor en los talleres de consenso que con la información de fuentes secundarias. Con relación a los sistemas de bovinos para leche, el ingreso neto fue COP 268.000 menor en los consensos que con la información de fuentes secundarias. Por último, en el caso del sistema silvopastoril, el ingreso



neto fue COP 165.950 mayor en los consensos que con la información reportada por las instituciones del sector.

Así, se aprecian diferencias entre los costos que suministraron las instituciones y los obtenidos en el trabajo de campo con la técnica del consenso. En algunos casos se incluyeron costos de elementos que no se utilizan, principalmente en los costos indirectos y en los insumos, como fertilizantes. Como se vio, solo en el sistema de producción de leche los ingresos netos del consenso fueron menores que los reportados por las instituciones del sector.

Análisis comparativo por tecnologías: tecnología local frente a la opción tecnológica planteada

En esta parte del análisis se hace una comparación de los retornos económicos entre el manejo convencional del sistema de producción, es decir, con la tecnología local, y las opciones tecnológicas desarrolladas en el C. I. Motilonia durante la fase experimental.

Cabe anotar que no se pudo hacer el análisis completo en todos los sistemas priorizados, pues en algunos no se contó con la información de todos sus ciclos. En estos casos, se acudió a porcentajes y promedios, por lo que se aclaran las posibles limitaciones y alcances de los resultados. Los sistemas con datos completos son maíz para ensilaje, sorgo forrajero y pasto Sabanera (tabla 7.3), lo cual se explica por ser cultivos de ciclo corto; en los cultivos de mango, cítricos y sistemas silvopastoriles, la información permite hacer un análisis completo en un ciclo de producción de un año, que incluye los costos variables, la inversión y los costos del riego para una hectárea por un año.

Sistema de producción de forrajes (sorgo, maíz y pasto)

En el sistema de producción de especies forrajeras, se hicieron los análisis comparativos en las especies de maíz para ensilaje, sorgo y pasto para heno, y se tomaron promedios de producción para una hectárea, a precios de 2022, de acuerdo con el componente biofísico del proyecto, también para una hectárea en un año. Así, se aclara que se pueden presentar variaciones en los resultados dependiendo de las cantidades, los precios y factores como la escala de producción, la distancia con las fuentes de agua y la distancia con los centros urbanos de venta de insumos y productos. Los resultados de este análisis se presentan en la tabla 7.3.



Tabla 7.3. Análisis comparativo de los retornos económicos de una hectárea de los cultivos forrajeros entre el manejo convencional y la opción tecnológica

Indicador	Maíz		Sorgo		Pasto Sabanera	
	Tecnología local	Opción tec.	Tecnología local	Opción tec.	Tecnología local	Opción tec.
Costo total (COP)	5.154.590	5.226.864	4.204.875	4.365.545	477.314	533.053
Producción (t/ha)	26	28	30	33	25	30
Costo unitario (COP/t)	198.253	176.848	140.163	132.289	19.093	17.768
Precio (COP/t)	200.000	200.000	200.000	200.000	20.000	20.000
Ingreso bruto (COP/ha)	5.200.000	5.600.000	6.000.000	6.600.000	500.000	600.000
Ingreso neto (COP)	45.410	373.136	1.795.125	2.234.455	22.686	66.947
Rentabilidad (%)	0,9	41	42,7	51,2	4,8	12,6
Eficiencia (%)	1	1,4	1,4	1,5	1	1,1
Punto de equilibrio (t/ha)	25,8	25	21	21,8	23,9	26,7

Nota: Los precios y costos son para una tonelada de silo de maíz, sorgo o pasto.

Fuente: Elaboración propia con base en cálculos del componente económico y en información biofísica de AGROSAVIA de 2023

El análisis contempla dos situaciones: la producción con métodos convencionales y la producción con la opción tecnológica, que incluye el uso del riego a través del sistema de pivote central. El componente técnico generó la información sobre el consumo energético del pivote una vez el sistema estaba en operación; la información se llevó a unidades de kW/h. El procedimiento se hizo para la aplicación de tres láminas de agua, que correspondieron a 2,33, 5 y 15 mm. Mediante una regresión lineal se encontró la función que definía el tiempo de operación del riego para una lámina definida. Para estimar el costo del consumo eléctrico final, se multiplicó por la tarifa de energía y de esta forma se estableció el costo en cada caso, considerando el riego. Se aclara que, en la opción tecnológica, a los costos de las actividades propias del cultivo se les sumó el valor del riego.



Los cálculos del riego en cada uno de los cultivos se hicieron de acuerdo con el procedimiento descrito anteriormente. El costo del riego para el cultivo de maíz se calculó en 76.610 COP/ha, que resulta de sumarle al costo de la energía propiamente dicha el valor de los jornales para aplicarlo. El costo de la energía para el cultivo de pasto fue de 58.032 COP/ha, y para el sorgo forrajero fue de 79.037 COP/ha. Estos valores se sumaron al costo promedio de cada especie, según correspondió.

Se pueden apreciar algunas ventajas de usar las opciones tecnológicas propuestas, pues los rendimientos físicos hacen que se produzca con un costo unitario de producción más bajo. En cada uno de los casos, el costo unitario es menor que el precio de venta, lo que indica la posibilidad de generar más excedentes que con la tecnología convencional.

Sistema de producción de mango

Igual que en los sistemas anteriores, y como lo sugería la metodología, se hizo la comparación de los retornos económicos de los sistemas de producción con la tecnología local de producción del sur del Cesar y con los datos generados en el C. I. Motilonia, los cuales se presentan en la tabla 7.4.

Tabla 7.4. Análisis comparativo de los retornos económicos de una hectárea del sistema de producción de mango entre el manejo convencional y la opción tecnológica

Indicador	Sin riego	Con riego tecnificado	Diferencia
Rendimiento (t)	31	35	4
Precio por tonelada (COP)	400.000	400.000	0
Ingreso total (COP)	12.400.000	14.000.000	1.600.000
Costo total (COP)	6.275.304	7.865.880	1.590.576
Costo unitario (COP/t)	202.429	224.739	22.310
Ingreso neto (COP)	6.124.696	6.134.120	9.424
Rentabilidad (%)	97,6	78	-19,62
Punto de equilibrio (t/ha)	15,7	19,66	3,96

Fuente: Elaboración propia con base en información obtenida en los talleres y en los experimentos realizados en el C. I. Motilonia en 2023



Se puede apreciar la diferencia en los costos de producción cuando se hace uso del riego; estos costos fueron de COP 1.765.412 por hectárea. Se enfatiza que este es el costo por usar riego, lo que hace que los costos totales por hectárea sean COP 1.590.576 más altos que con el manejo convencional del sistema. La ventaja consiste en mantener una producción permanente a lo largo del año para romper la estacionalidad, por lo que se espera que los rendimientos sean mayores. Se aclara también que los rendimientos fueron estimados usando tasas de crecimiento del 3,2 % en relación con el manejo convencional, por lo que el alcance y uso de este dato no corresponde a las cantidades realmente obtenidas.

Los costos del sistema de riego se hicieron teniendo en cuenta la inversión inicial y la depreciación a veinte años, y se usó el concepto financiero de recuperación de capital costo anual equivalente (CAE), que fue de COP 1.765.412, que sería el costo anual del riego en su vida útil. Los costos sí fueron calculados con datos generados por el componente biofísico del proyecto.

Sistema de producción de cítricos

En cuanto a los cítricos, específicamente el sistema de producción de naranja, se tomaron como referentes los patrones de costos de la localidad de Chimichagua, por el método de consenso con los agricultores, y para la opción tecnológica se tuvo en cuenta la información generada por el componente biofísico del proyecto (tabla 7.5).

Tabla 7.5. Análisis comparativo de los retornos económicos de una hectárea del sistema de producción de cítricos (naranja) entre el manejo convencional y la opción tecnológica

Indicador	Sin riego	Con riego tecnificado	Diferencia
Rendimiento (unidad)	108.000	115.000	7.000
Precio por unidad (COP)	41	45	4
Ingreso total (COP/t)	4.428.000	5.175.000	747.000
Costo total (COP)	2.469.870	3.505.527	1.035.657
Costo unitario (COP)	23	30	7
Ingreso neto (COP)	1.958.131	1.669.473	-288.657
Rentabilidad (%)	44,2	48	3,40
Punto de equilibrio (unidad)	60.241	77.901	17.660

Fuente: Elaboración propia con base en información obtenida en los talleres y en los experimentos realizados en el C. I. Motilonia en 2023



Igual que en el sistema de producción de mango, para el caso del cultivo de naranja no se tienen datos del ciclo completo, por lo que se acudió a porcentajes y tasas de crecimiento menores del 10 % con respecto al manejo convencional. Se incurrió en un costo adicional de COP 1.835.692 por concepto de riego. Los precios son mayores con el manejo del cultivo con la opción tecnológica, así como los costos, que aumentaron en 1.035.657 COP/ha. Sin embargo, las posibilidades de recuperación son altas debido a que se puede producir todo el año, y de esta forma se rompe con la estacionalidad de la producción.

Para el sistema de riego, con una inversión inicial calculada de COP 20.387.291, se aplicó el factor de recuperación de capital CAE con una vida útil de veinte años, lo que corresponde a un valor de 1.835.692 COP/año, lo cual incluye el costo de instalación y operación del riego. El costo total de la opción tecnológica es de COP 3.505.527, con una diferencia amplia en relación con el sistema de producción convencional.

Sistema de producción silvopastoril

Para este sistema de producción se tuvo como referente la información suministrada por los productores del municipio de Agustín Codazzi, Cesar. Los cálculos y análisis del sistema de producción con el uso del riego se hicieron con base en la información suministrada por el componente biofísico del proyecto (tabla 7.6).

Tabla 7.6. Análisis comparativo de los retornos económicos de una hectárea del sistema silvopastoril entre el manejo convencional y la opción tecnológica

Indicador	Sin riego	Con riego tecnificado	Diferencia
Cantidad de leche (L)	1.800	2.160	360
Cantidad de carne (kg)	420	480	60
Precio de la leche (COP/L)	1.300	1.300	0
Precio de la carne (COP/kg)	6.200	7.800	1.600
Ingreso por leche (COP)	2.340.000	2.808.000	468.000
Ingreso por carne (COP)	2.604.000	3.744.000	1.140.000
Ingresos totales (COP)	4.944.000	6.552.000	1.608.000
Costos totales (COP)	4.204.875	5.137.285	932.410
Costos totales por leche (COP)	2.298.352	2.876.880	578.528



Costos totales por carne (COP)	1.906.523	2.260.405	353.882
Costos por leche (COP/L)	1.277	1.097	-180
Costos por carne (COP/kg)	4.539	3.014	-1.525
Ingreso neto (COP)	739.125	1.414.715	675.590
Rentabilidad (%)	18	28	10
Punto de equilibrio en leche (L)	2.129	1.798	-331
Punto de equilibrio en carne (kg)	444	526	82

Fuente: Elaboración propia con base en información obtenida en los talleres y en los experimentos realizados en el C. I. Motilonia en 2023

En el sistema silvopastoril se tuvieron en cuenta los costos de establecimiento y los costos de mantenimiento, incluyendo el componente animal y la producción tanto de carne como de leche para un año de producción en una hectárea. Se tomaron los precios promedio tanto de la leche como de la carne (Federación Colombiana de Ganaderos [Fedegán], s.f.). Se aprecia que los costos aumentan cuando se hace uso de la tecnología, con un incremento de 932.410 COP/ha. Este aumento en los costos se ve compensado con aumentos en los rendimientos tanto de carne como de leche, los cuales generan un incremento del ingreso neto de 675.590 COP/ha. Esto permite inferir que el sistema silvopastoril es sostenible económica y financieramente.

El cálculo del riego se hizo teniendo en cuenta la inversión inicial, de COP 33.490.679. Se usó también el factor de recuperación de capital CAE, de COP 2.713.545, que equivale al valor del riego por hectárea en un año, lo que incluye la inversión y la mano de obra de aplicación del riego para este periodo de tiempo. La suma del valor de riego más los costos variables da 5.137.285 COP/ha/año.

Conclusiones

Se aprecian diferencias entre los costos que suministraron las instituciones y los obtenidos en el trabajo de campo con la técnica del consenso. En algunos casos se incluyen costos de elementos no utilizados, principalmente los relacionados con los costos indirectos y los insumos, como los fertilizantes.

Los costos de producción varían según el modelo productivo, ya sea que se trate de agricultura familiar o de cultivos comerciales, caso último en el cual un alto



porcentaje lo constituyen los costos explícitos por compra de insumos y servicios, que se toman con los precios del mercado.

Se aprecian ventajas en los retornos económicos de los sistemas de producción cuando fueron tratados con las tecnologías del C. I. Motilonia.

Por último, se advierte sobre las limitaciones y alcances de los resultados, pues, a pesar del rigor metodológico, la información en algunos sistemas de producción no fue suficiente para realizar un análisis completo, por lo que se debe tener cuidado con el uso de los resultados y la información aquí presentada.

Referencias

- Agreda, V., Quijandría Salmón, B., & Ruiz, M. E. (1991). *Metodología para el análisis económico. Aspectos metodológicos del análisis social en el enfoque de sistemas de producción*. Red de Investigación en Sistemas de Producción Animal en Latinoamérica (Rispa).
- Cimmyt. (1988). *La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: un manual metodológico de evaluación económica*. <https://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/1063/9031.pdf>
- Federación Colombiana de Ganaderos (Fedegán). (s.f). Precios. <https://www.fedegan.org.co/estadisticas/precios>
- Krugman, P., & Wells, R. (2006). *Introducción a la economía: microeconomía*. Reverté.
- López Soto, N. (1997). *Proyectos agropecuarios, teoría y casos prácticos*. Universidad Nacional de Colombia.
- Martínez-Reina, A. M., Tordecilla-Zumaqué, L., Grandett-Martínez, L. M., Regino-Hernández, S. M., Luna-Castellanos, L. L., & Pérez-Cantero, S. P. (2021). Analysis of the technical efficiency of yam cultivation (*Dioscorea* spp.) in the Caribbean Region of Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 15(2), artículo e1244. <https://doi.org/10.17584/rcch.2021v15i2.12445>.
- Martínez-Reina, A. M., Tordecilla-Zumaqué, L., Grandett-Martínez, L. M., Rodríguez-Pinto, M. del V., Cordero-Cordero, C. C., Orozco-Guerrero, A. R., Silva-Acosta, G. E., Romero-Ferrer, J. L., & Correa-Álvarez, E. M. (2019). Análisis económico de la producción de berenjena (*Solanum melongena* L.) en dos zonas productoras del Caribe colombiano: sabanas de Sucre y Valle del Sinú en Córdoba. *Ciencia y Agricultura*, 16(3), 17-34. <https://doi.org/10.19053/01228420.v16.n3.2019.9514>



Puentes Montañez, G. A. (2011). *Formulación y evaluación de proyectos agropecuarios*. Ecoe.

Quijandría, B., Agreda, V., Escobal, J., & Twanama, W. (1990). *Análisis dinámico de pequeñas fincas en cuatro regiones del Perú: aspectos metodológicos*. Rimisp.



Este manual reúne información que va dirigida a productores, técnicos e interesados en los cultivos priorizados por el departamento del Cesar, y se presenta en siete capítulos: i) Uso eficiente del suelo en sistemas de producción de forrajes y frutales en el Caribe seco; ii) Sistemas de riego por pivote central para la producción de biomasa a gran escala en el Caribe seco; iii) Producción, cosecha y poscosecha de cultivos forrajeros; iv) Eficiencia hídrica y productividad en dos sistemas silvopastoriles del Caribe seco colombiano; v) Manejo del agua y suelo, y control de plagas y enfermedades en el cultivo de mango Keitt en las condiciones del Caribe seco colombiano; vi) Manejo integrado del cultivo de cítricos en el Caribe seco: un enfoque en el uso eficiente del agua y el suelo, y el control efectivo de plagas y enfermedades; y vii) Análisis comparativo de los retornos económicos en los sistemas de producción priorizados entre la tecnología local y el uso del riego en el Centro de Investigación Motilonia de AGROSAVIA.