

CULTIVO DE TOMATE BAJO CUBIERTA

Alternativas de gestión orientadas a la
sostenibilidad: Somos Agricultura Tropical -SAT



Cultivo de tomate bajo cubierta : alternativas de gestión orientadas a la sostenibilidad: Somos Agricultura Tropical - SAT. / Diego Alejandro Rojas-Ramírez [y otros diez] – Mosquera (Colombia) : AGROSAVIA, 2025.

64 páginas (Colección Alianzas AGROSAVIA)

Incluye referencias bibliográficas y fotografías.

ISBN: 978-958-740-793-8

ISBN e-Book: 978-958-740-795-2

1. *Solanum lycopersicum* 2. Tomate 3. Agricultura tropical 4. Agricultura sostenible
5. Práctica agrícola 6. Manejo del cultivo 7. Manejo de desechos.

Palabras clave normalizadas según Tesauro Multilingüe de Agricultura -Agrovoc

Catalogación en la publicación – Biblioteca Agropecuaria de Colombia

CULTIVO DE TOMATE BAJO CUBIERTA

**Alternativas de gestión orientadas a la
sostenibilidad: Somos Agricultura Tropical -SAT**

Diego Alejandro Rojas-Ramírez
María Victoria Zuluaga-Mogollón
Mauricio Camelo-Rusique
Yimmy Alexander Zapata-Narváez
Camilo Rubén Beltrán-Acosta
Edwin Andrés Villagrán Munar
Karla Juliana Rodríguez-Robayo
Érika Valentina Vergara Navarro
Adriana Marcela Santos-Díaz
Carlos Andrés Moreno-Velandia
Adriana María Molina Romero

Tabla de contenido

Prólogo
Pág.....05

Introducción
Pág.....07



01. Contexto y generalidades del cultivo de tomate bajo cubierta
Pág.....08



02. Impactos ambientales del cultivo
Pág.....20



03. Alternativas para un manejo sostenible del cultivo de tomate
Pág.....28



04. Mitigación de impactos y aprovechamiento de algunos residuos
Pág.....48

Prólogo

El conjunto de políticas y medidas globales diseñadas para enfrentar los efectos del cambio climático en el corto y mediano plazo, pero más aún la necesidad imperiosa de alcanzar la sostenibilidad para suplir las necesidades del presente sin comprometer los recursos para suplir las necesidades de las generaciones futuras, llevan a la humanidad a replantear el cómo alcanzar la productividad requerida para alimentar a una población en permanente crecimiento, sin agotar los recursos de los que aún disponemos.

A mediados del siglo XX, en un contexto de posguerra y supremacía de poder político de las denominadas potencias mundiales, ya se planteaba el dilema de cómo alimentar a una población en crecimiento. En ese entonces fue la crisis lo que alimentó el motor del cambio, que si bien ha permitido aumentar sin precedentes la producción de alimentos, los efectos adversos atribuidos al desarrollo hacen necesario replantear las estrategias y acciones para transitar hacia un desarrollo sostenible.

La naturaleza, el clima, y el planeta en general ejemplifican la conceptualización del cambio como motor de vida, afectado por la actividad antrópica. En este sentido, se requiere pasar de un modelo de desarrollo depredador hacia uno mutualista, en el que se estreche la relación hombre-naturaleza, pero a su vez se fortalezca la cohesión social, con una visión clara de las debilidades y fortalezas y, con el conocimiento de las oportunidades que el contexto actual ofrece, permitiendo acercarnos a sistemas menos vulnerables y más resilientes para adaptarse a un escenario en permanente cambio.

Con el propósito de contribuir a la generación de sistemas productivos menos vulnerables y más

acordes con el entorno, el Fondo Nacional de Fomento Hortifrutícola y la Asociación Hortifrutícola de Colombia (Asohofrucol), en la última década vienen trabajando en la propuesta de un modelo que permite transitar hacia una agricultura con enfoque social, económico y ambiental, acorde con el contexto colombiano, que ha sido denominado *Somos Agricultura Tropical (SAT)*. Este enfoque plantea escenarios de transición desde un modelo de producción fundamentado en la intensificación de la producción y el uso indiscriminado de insumos de síntesis química, propio del modelo de revolución verde, hacia una producción más sostenible. Este modelo toma elementos conceptuales y técnicos de base agroecológica pero también, plantea una agricultura humana, inclusiva y participativa, en la que intervienen diversos actores para gestionar y aprovechar las oportunidades y reconocer las debilidades para avanzar en la sostenibilidad de los sistemas productivos, los territorios y las comunidades.

Reinventar la manera de producir alimentos con una menor huella de carbono, mayor productividad por planta, menor uso de sustancias que contaminan el ambiente (suelo, agua, aire), así como procurar un mayor bienestar para los agricultores, sus familias, trabajadores y consumidores, en la actualidad, no es una alternativa, es una exigencia. En este sentido, los intentos por contribuir a la sostenibilidad son compromiso de todos y deben ser atendidos, gestionados y puestos en marcha.

María Victoria Zuluaga M.

Investigadora Agrosavia

Introducción

La producción de alimentos es una de las actividades que se ha desarrollado con mayor ahínco, gracias a la sostenida generación e introducción de agroinsumos novedosos, semillas mejoradas, estrategias de manejo, sistemas de riego, análisis de suelo y agua, y en cultivos como el tomate, el uso de estructuras cubiertas. Estos elementos se han articulado para aumentar el rendimiento, lo suficiente para modular cadenas alimentarias que funcionan a escala planetaria.

No obstante, cuando se observa la intensificación de la agricultura mediante el lente de la sostenibilidad, el panorama es totalmente diferente, pues se perciben los impactos inherentes de esta, tanto en los ecosistemas donde se lleva a cabo como sobre las comunidades campesinas que participan en dichas actividades y finalmente en los consumidores.

Esta dicotomía entre producir alimentos y conservar los recursos naturales plantea un serio reto para nuestra generación y las generaciones futu-

ras: mantener las contribuciones de la naturaleza que aportan directa (regulación climática e hídrica, energía, alimentos, materias primas, piensos, y recursos medicinales, entre otros) e indirectamente (creación y mantenimiento de hábitats, polinización y dispersión de semillas, entre otros) para garantizar el buen vivir del ser humano.

Este documento consolida elementos provenientes de iniciativas y acciones de organizaciones campesinas, agencias del Estado y gremios que lograron articularse para contribuir en la transición hacia una agricultura sostenible. Si bien estos procesos de transición aún son incipientes, parecen conjugar de manera consistente, diferentes enfoques agrícolas, visiones de agricultura, cadenas de abastecimiento, dando como resultado un cambio en el modelo de producción de tomate bajo cubierta, que se espera, pueda servir de ejemplo y abre bocas para todos los interesados en implementar prácticas de agricultura sostenible en agricultura bajo cubierta.

01

Contexto y generalidades del cultivo de tomate bajo cubierta

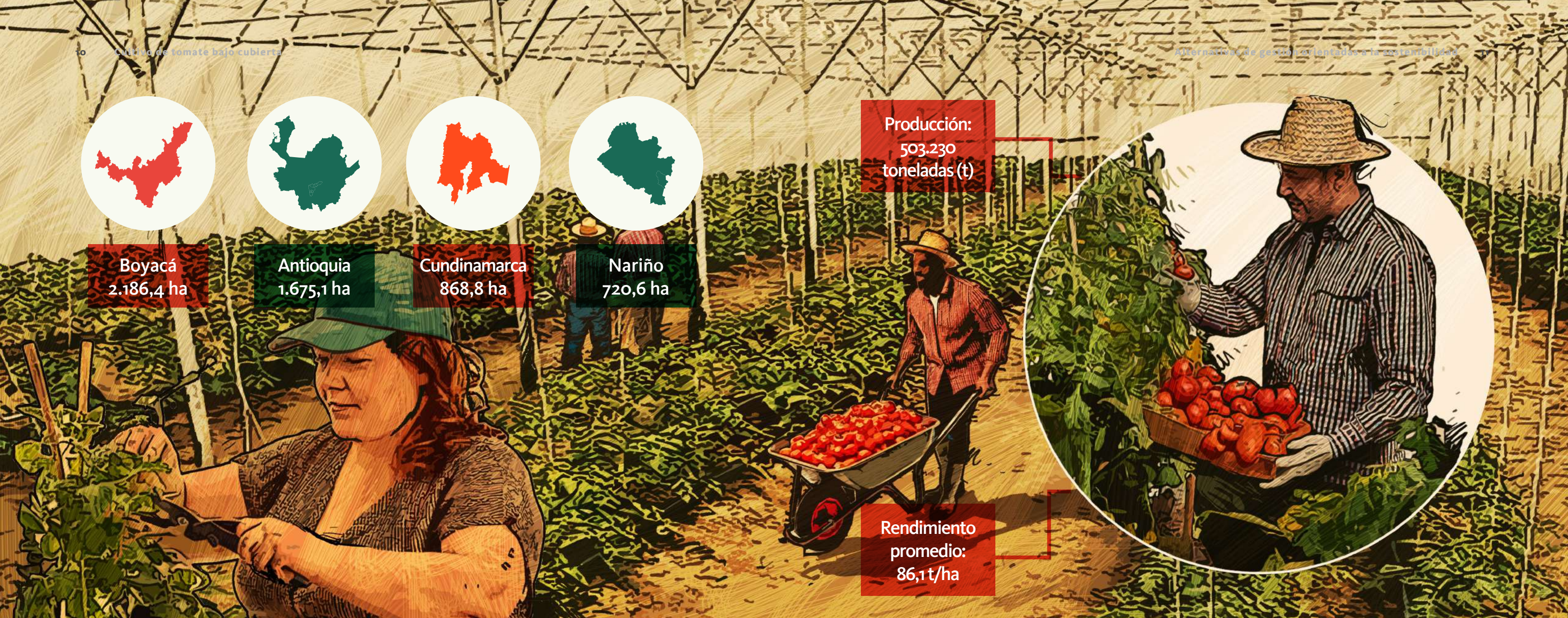
El tomate es una de las hortalizas con mayor producción y consumo a nivel mundial, siendo China el país que ha liderado históricamente la producción (Colimba-Limaico *et al.*, 2022). En el año 2022, China aportó el 27 % de la producción mundial de tomate, seguido por India (8 %), Turquía (5 %) y Estados Unidos (4 %). La producción de tomate en Colombia, se ubica en el puesto 20 (Organización para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2022).

De acuerdo con cifras de la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA) y de las Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA), durante el año 2022 el área cultivada en tomate en Colombia fue de 17,755 ha, principalmente distribuidas en pequeñas unidades productivas (1000-5000 m²). El 58,5 % del área cultivada en el país se encuentra a libre exposición y el 41,5 % bajo cubierta. Bajo este último tipo de manejo se obtiene el 69 % de la producción nacional de tomate, destacándose los departamentos de Boyacá, Antioquia, Cundinamar-

ca y Nariño, en donde se cosecha el 76,39 % de la producción de tomate bajo cubierta (figura 1).

Las exportaciones de tomate colombiano son bajas, con alrededor de 798 toneladas netas dirigidas a mercados principalmente del Caribe: Aruba (29 %), Curazao (64 %), y otros (7 %). Por otra parte, se importan 16.423 toneladas netas entre tomates refrigerados y salsa de tomate (kétchup) provenientes principalmente de Chile (45 %) y Estados Unidos (39 %), según cifras del Sistema de información de gestión y desempeño de organizaciones de cadenas ([SIOC], Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021).

Esta hortaliza es de gran importancia en la dieta de los colombianos, siendo fuente de vitaminas (A, grupo B, K, C y E), minerales y oligoelementos tales como sodio, potasio, calcio, magnesio, cobre, manganeso y zinc; y carotenoides (licopeno, fitoeno, fitoflueno, β -caroteno y luteína) (Navarro-González y Periago, 2016). Se estima que el consumo anual per cápita de tomate en Colombia es de 12 kg.



Descripción del manejo agronómico actual

La producción de tomate inicia con la propagación vegetal, que se realiza en semilleros comerciales, donde se enraízan plántulas provenientes de semilla sexual, sembradas en sustratos como turba y mecha de coco, etapa que tiene una duración aproximada de 30 días. Para el caso del mercado en fresco se emplean híbridos de alto rendimiento, principalmente de tipo Milano, Chonto y Cherry

Figura 1. Área sembrada y producción de tomate bajo cubierta en los principales departamentos productores en Colombia.

Elaboración: propia.

(Departamento Administrativo Nacional de Estadística [Dane], 2014). Actualmente, es tendencia el uso de plántulas injertadas, para las cuales los plantadores utilizan como portainjertos, híbridos tolerantes a fitopatógenos del suelo y que proveen mayor vigor a las plantas. Para la copa son injertados híbridos de alto rendimiento descritos anteriormente (Délices *et al.*, 2019).

El modelo de producción convencional del cultivo de tomate

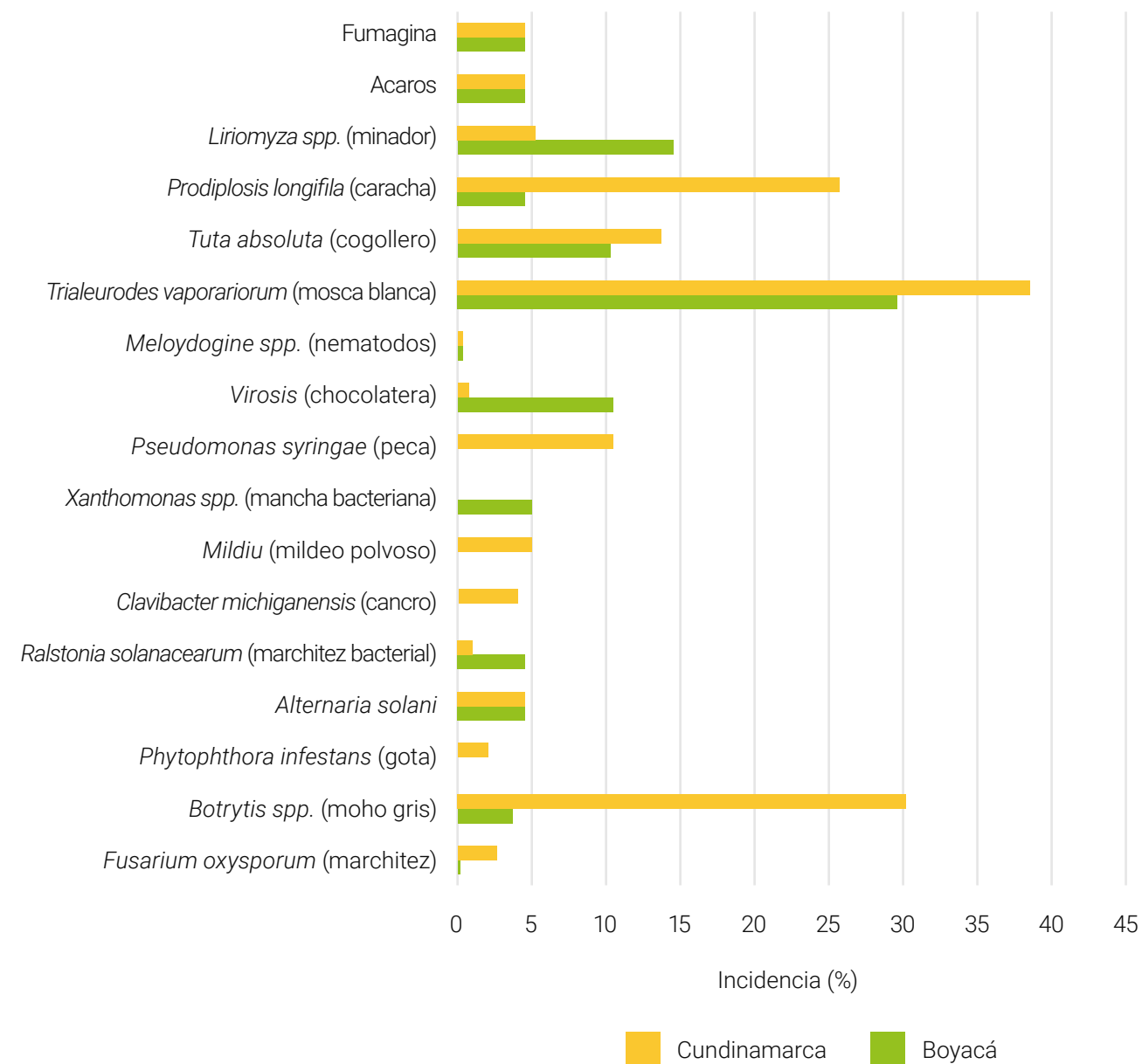
En el marco del proyecto “Aporte de prácticas con enfoque de Agricultura Tropical a la sostenibilidad de los sistemas productivos de aguacate en Tolima y Huila, pasifloras Boyacá y Meta, tomate bajo cubierta en Cundinamarca y Boyacá” se llevó a cabo una caracterización del sistema de producción de tomate bajo cubierta realizando entrevistas

a más de 120 productores ubicados en localidades de las provincias de Oriente en Cundinamarca y Ricaurte en Boyacá. En este ejercicio se evidenció que el manejo fitosanitario está condicionado por la susceptibilidad de la variedad sembrada tanto a insectos plaga como a patógenos, así como por las condiciones ambientales bajo la cubierta (tempera-

tura, humedad relativa, radiación solar, evapotranspiración y ventilación), que en estructuras sencillas no pueden ser gestionadas adecuadamente y generan condiciones ambientales que favorecen el desa-

rollo de insectos plaga así como de patógenos, lo que propicia un mayor uso en cantidad y frecuencia de insecticidas y fungicidas para el respectivo control (figura 2).

Figura 2. Incidencia promedio de organismos de interés fitosanitarios reportados en cubiertas con agricultura convencional en Cundinamarca y Boyacá.



Fuente: Convenio 2129, suscrito entre Agrosavia-Asohofrucol.

Figura 3. Nube de palabras con los ingredientes activos de los principales plaguicidas y fertilizantes empleados en la producción de tomate en la producción convencional.



Fuente: elaboración propia.

Respecto a la fertilización, los productores a menudo buscan fuentes simples de fertilizantes y diseñan programas de fertilización según su experiencia, criterios visuales y estado fenológico de la planta que permite incorporar tanto macronutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio) como micronutrientes (boro, cobre, hierro, manganeso, molibdeno y zinc) que las plantas requieren para su adecuado desarrollo y la posterior producción. El análisis de suelos se realiza esporádicamente, cuando luego de varios ciclos de producción de tomate el rendimiento empieza a decaer.

Las labores del cultivo, como aplicación de agroinsumos, deshierba, siembra, colgado de

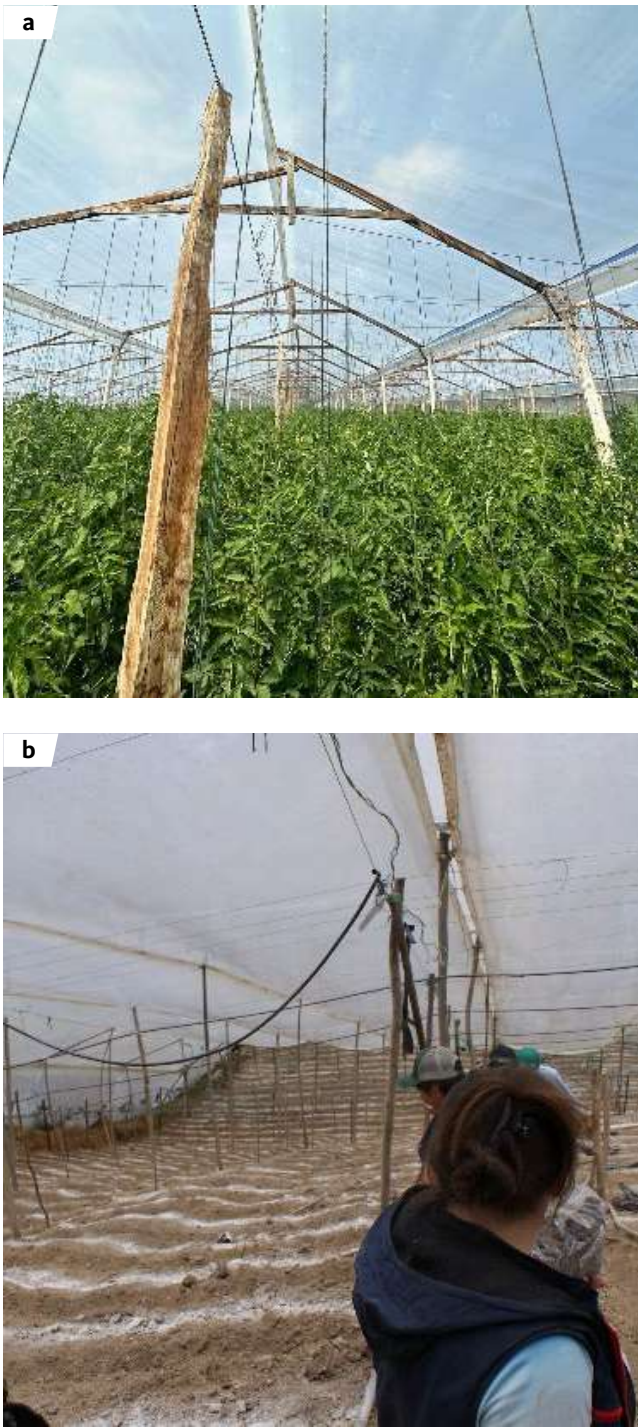
plantas, entre otras, son realizadas por mano de obra local y el sistema productivo es una fuente de empleo e ingresos para las familias rurales; no obstante, es poco frecuente observar equipos de protección personal para aplicar fungicidas e insecticidas. Las labores culturales propias del cultivo de tomate bajo cubierta, como la aplicación de riego, el fertirriego, aplicación directa de agroinsumos mediante tuberías de PVC o polietileno y el deschuponado, que obedecen a criterios visuales, es usualmente gestionada bajo esquemas de agricultura familiar. Por su parte, el mantenimiento de la estructura y los equipos auxiliares se realiza por personal especializado de la misma región cuando es necesario hacer uso de estos servicios.

Infraestructura utilizada para la producción de tomate bajo cubierta

La producción de tomate se desarrolla principalmente bajo estructuras cubiertas de bajo costo y tecnología simple (Bojacá *et al.*, 2014). Estas estructuras, conocidas localmente como cubiertas, se elaboran con pocos criterios técnicos, utilizando materiales como acero, madera, cable acerado y guaya. Para la cubierta y el encerramiento suele utilizarse plásticos convencionales, malla anti-insectos y polisombra. Para la cimentación y el anclaje generalmente se usa acero y concreto (Villagrán *et al.*, 2022). En las zonas donde se desarrolló el proyecto se encuentran diversas tipologías de estructuras, destacándose la tradicional de madera y la espacial (figura 4 a y b, respectivamente). Estas estructuras presentan características propias del diseño que afectan el comportamiento del microclima en su interior, debido a tasas de ventilación inadecuadas (Rocha *et al.*, 2021), lo que perjudica el desarrollo del cultivo e incide en la aparición de organismos plaga.

Figura 4. Tipos de cubiertas observadas para la producción de tomate: **a.** tradicional de madera, **b.** espacial de madera.

Fotos: Diego Rojas-Ramírez.



Equipos auxiliares a la cubierta: tutorado y sistemas de riego

La infraestructura para la producción se complementa, con sistemas de tutorado de tipo sencillo u holandés a partir de materiales similares a los utilizados en la fabricación de cubiertas. Se emplean sistemas de riego por goteo, tanto en terrenos planos como en laderas, que son alimentados por cuerpos de agua superficiales, nacimientos y aguas lluvias cosechadas y almacenadas en tanques y en reservorios. El sistema de riego emplea un cabezal sencillo, con electrobomba y filtro de anillos de 120 orificios. Sin embargo, en terrenos con pendiente pronunciada se aprovecha la energía generada por la gravedad. Este sistema provee disponibilidad del recurso hídrico al cultivo y la necesidad de fertilización se solventa mediante fertirriego principalmente con fertilizantes de síntesis química solubles en agua. En estos modelos de producción no se cuenta con sistemas de control y automatización del riego, por lo que este se maneja a criterio del productor. Predomina el uso de cinta de riego, aunque en algunos casos se emplean goteros tipo botón o líneas integradas (figura 5).

El elevado costo de los insumos que puede alcanzar el 78 % de los costos directos (Finagro, 2021), así como el creciente reconocimiento del impacto del sistema productivo ha promovido la búsqueda de estrategias que permitan realizar un manejo integrado del cultivo, bajo un enfoque de prevención de riesgos fitosanitarios y prácticas orientadas a la sostenibilidad como el uso de insumos orgánicos, biológicos, biopreparados, prácticas culturales y decisiones basadas en datos, lo que en conjunto, además de procurar disminuir los costos en la producción, tiene como propósito hacer un uso racional de los recursos, el manejo efectivo del cultivo y obtener un producto de mejor calidad, especialmente en términos de inocuidad.

Figura 5. Infraestructuras auxiliares a la cubierta observadas en fincas de productores de tomate: **a.** reservorio para cosecha de agua, **b.** cinta de riego por goteo, **c.** tutorado tipo holandés, **d.** tanque de mezcla y bomba de riego e inyección de fertilizantes.



Fotos: a,b y c (Diego Rojas-Ramírez), d (Mauricio Camelo-Rusinque).

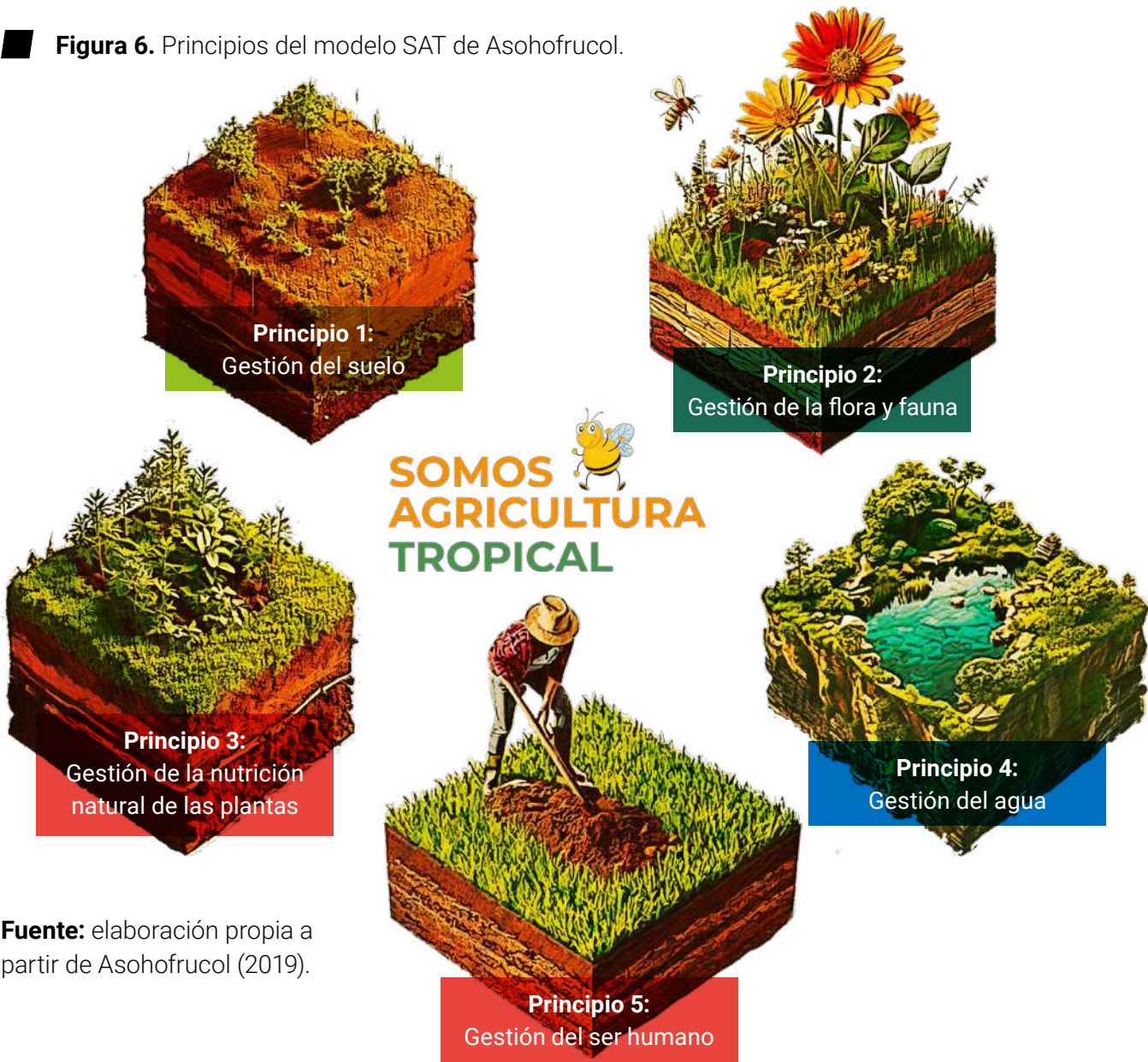
El modelo SAT de Asohofrucol

Un modelo se define como un algo para ser reproducido o imitado y también como un esquema teórico de un sistema o de una realidad compleja, que se elabora para facilitar su comprensión o explicación. La agricultura es una actividad compleja que, en su diversidad, puede ser vista desde diferentes ópticas.

Al respecto, Asohofrucol propone un esquema con base en cinco fundamentos: gestión del suelo,

gestión de la flora y la fauna, gestión de la nutrición natural de las plantas, gestión del agua y el ser humano (Asohofrucol, 2019), como estrategia para comprender todas las practicas que se requieren para obtener una cosecha redituable y sostenible. A este modelo Asohofrucol lo ha denominado *Somos Agricultura Tropical (SAT)* (figura 6) y que hace alusión a la ubicación geográfica de Colombia y propende por un lenguaje inclusivo que integre la importancia

Figura 6. Principios del modelo SAT de Asohofrucol.



Fuente: elaboración propia a partir de Asohofrucol (2019).

de todos y la corresponsabilidad frente al funcionamiento del sistema agroalimentario del país. Este modelo incorpora prácticas como el análisis de suelo y agua, la conservación y multiplicación de los recursos biológicos con que cuentan los agricultores, la disminución de las externalidades y, con esto, la autogestión de la producción, mediante acompañamiento de técnicos extensionistas profesionales en campo y el establecimiento de biofábricas para el aprendizaje en la elaboración de biopreparados que el productor incorpora en su sistema productivo.

A raíz de la crisis de insumos de síntesis química causada por la pandemia de Covid-19 y el conflicto en Ucrania desde el 2022, organizaciones de productores de tomate bajo cubierta en Cundinamarca y Boyacá retoman el uso de prácticas de base agroecológica que el modelo SAT fomenta, permitiéndoles afianzar conocimientos para una producción que supla el creciente llamado por parte de la sociedad civil hacia el acceso de alimentos nutritivos, sanos e inocuos (figura 7).

Figura 7. Productores de tomate de las asociaciones de Asoagropetín y Asoroa en un diálogo de saberes en gira técnica al Centro de Investigación Tibaitatá.



Foto: Diego Rojas-Ramírez.

02

Impactos ambientales del cultivo

La agricultura es una de las actividades que transforma el paisaje e impacta constantemente el ambiente, independientemente de los métodos, las técnicas o tecnologías que se utilicen. La agricultura transforma los ecosistemas, bien sea desde el paisaje o beneficios de la naturaleza, así como desde la emisión de gases efecto invernadero a la atmósfera, la generación de residuos, el consumo de recursos, la degrada-

ción del suelo, y la afectación a fuentes hídricas, que en su conjunto inciden de manera directa en la biodiversidad, el territorio y las personas (figura 8). La estabilidad ambiental requiere del equilibrio entre el desarrollo de las actividades humanas y el entorno en el que se realizan, por lo que la relación naturalezahumano requiere de instrumentos de gestión que permitan disminuir el impacto que tiene la agricultura en sí misma.

Figura 8. Matriz de impactos ambientales que se perciben en los paisajes con tomate bajo cubierta.



Fuente: elaboración propia.

Impactos a la biodiversidad

La construcción de cubiertas lleva a la disrupción del paisaje, provocando la fragmentación de los ecosistemas y la pérdida de hábitats tanto de la flora como de la fauna, con la consecuencia de perder interacciones ecológicas y los beneficios ecosistémicos que se obtienen de dichas interacciones. La fauna pierde lugares transitorios de descanso y de caza, ocasionando migraciones a otros entornos menos intervenidos o que poblaciones específicas no sobrevivan y desaparezcan del hábitat a causa de la disrupción del paisaje (figura 9).

Asimismo, el uso constante de insecticidas afecta diferentes especies de arácnidos e insectos como abejas, abejorros, avispas, mariposas, polillas, moscas o escarabajos, los cuales cumplen diferentes funciones claves en los procesos biofísicos

■ **Figura 9.** Paisaje con cubiertas en la vereda Mortiñal del municipio de Fómeque

Fuente: Google Earth.

del ecosistema que son aprovechados en la agricultura, como polinizadores de las flores, controladores de insectos plaga, o iniciando el proceso de transformación de la materia orgánica (Mulé et al., 2017; Dirilgen et al., 2023). Igualmente, insecticidas del tipo neonicotinoides aplicados en semillas de las cuales gorriones se alimentan actúan como supresores del apetito haciendo que pierdan peso y eventualmente mueran (Eng et al., 2019). Estos plaguicidas también pueden contaminar las aguas subterráneas y superficiales, afectando a

peces, anfibios y crustáceos (Malhotra et al., 2021; Sánchez 2012).

Además, la infraestructura asociada a la producción de tomate predomina cubiertas de baja tecnología que emergen como un factor crítico con implicaciones ambientales (figura 10). Por ejemplo, la extracción de minerales y combustibles fósiles para la fabricación de materiales como el acero, el hormigón y el plástico, utilizados en la construcción de estas cubiertas y en el



sistema de tutorado, genera considerables emisiones de gases de efecto invernadero, contribuyendo significativamente al calentamiento global y al agotamiento abiótico (Gruda *et al.*, 2019). Diferentes estudios han demostrado que estos materiales estructurales pueden llegar a representar entre un 35 % y un 47 % de las categorías de impacto ambiental (Bojacá *et al.*, 2014).



Figura 10. Materiales más frecuentes empleados en la construcción de cubiertas para el cultivo de tomate en Cundinamarca y Boyacá.

Foto: Diego Rojas-Ramírez.

Impactos al suelo

El impacto negativo en el componente suelo es de consideración, por cuanto este es uno de los hábitats más diversos. Conceptualmente, el suelo es la parte superficial de la corteza terrestre, pero está demostrado que es un ambiente rico en actividad biológica, por lo cual es considerado como un organismo vivo, complejo y dinámico, siendo el hábitat de una amplia variedad de microorganismos, mesofauna y macrofauna, que de forma individual o mediante sus

interacciones son responsables de diferentes beneficios ambientales que el ser humano aprovecha como, por ejemplo, la formación de suelo, la fertilidad, la capacidad de retención hídrica, la estabilidad, etc.

El uso indiscriminado de plaguicidas de síntesis química y prácticas culturales como la eliminación de arvenses dejan el suelo a exposición directa (figura 11), favoreciendo la pérdida de

muchos organismos habitantes del suelo y la filósfera de las plantas, no solo los que provocan las enfermedades, sino también hongos simbios como las micorrizas, las cuales contribuyen a la nutrición de las plantas, eliminan a potenciales agentes de control biológico como *Trichoderma*, *Beauveria* o *Metarhizium*, así como especies de *Penicillium* y *Aspergillus*, habitantes naturales involucrados en la descomposición de la materia orgánica en el suelo (Kardol et al., 2018).

Figura 11. Durante la etapa de crecimiento vegetativo se mantiene el suelo expuesto al sol y a la residualidad de plaguicidas.

Foto: Diego Rojas-Ramírez.



Impactos al recurso hídrico

La fertilización indiscriminada, además de generar potencial acumulación de metales pesados en agua, suelo y tejido vegetal, dependiendo de la capacidad de intercambio catiónico y del tipo de suelo (Mendoza-Escalona *et al.*, 2021), junto a una fertilización elevada en nitrógeno y fósforo, puede generar eutrofización en embalses, lagos y ríos, con lo que se favorece el crecimiento excesivo de algas y plantas que cubren la superficie del agua (figura 12), impidiendo la penetración de la luz y dificultando la fotosíntesis de las plantas sumergidas, las cuales mueren. Como consecuencia, las

bacterias que se alimentan de la materia muerta, consumen el oxígeno y producen toxinas que matan a peces, crustáceos y moluscos, incrementando el riesgo para las poblaciones que utilizan estas fuentes de agua contaminadas. (Vásquez Zapata *et al.*, 2012).

Figura 12. Reservorio con proceso de eutrofización observado en Boyacá.

Foto: Diego Rojas-Ramírez.



Impactos a la salud humana

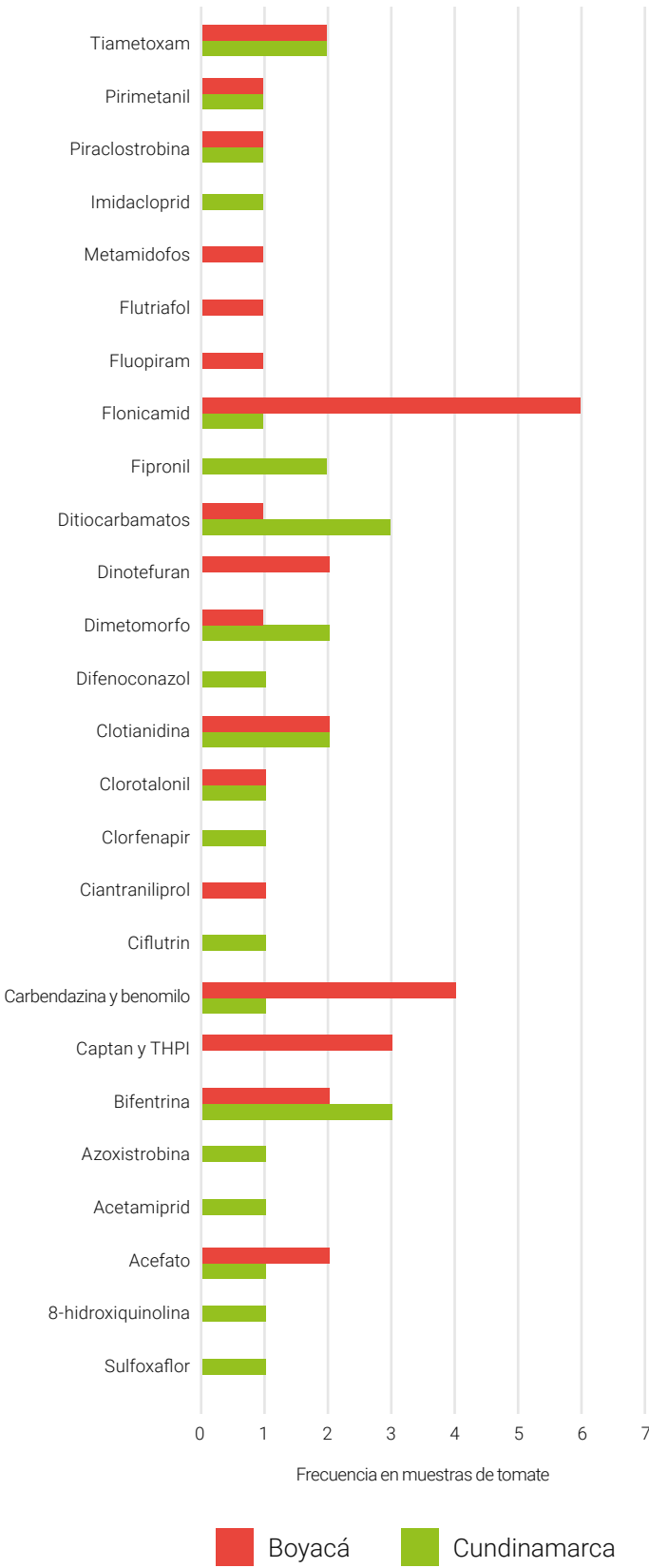
El uso constante de los plaguicidas y el nulo uso de elementos de protección personal aumenta la exposición directa para los trabajadores, los productores y sus familias. Entre los efectos que se asocian a los plaguicidas se encuentran los que afectan directamente al individuo expuesto siendo estos: enfermedad de Parkinson, Alzheimer, esterilidad, anemia aplásica, cáncer y trastornos diversos, y alteraciones genéticas que pueden llegar a afectar a su descendencia, tales como teratogénesis, mutagénesis, alteraciones del sistema inmunológico o del sistema nervioso central (Valbuena *et al.*, 2020; Butinof *et al.*, 2017; Muñoz-Quezada *et al.*, 2016).

Particularmente, la residualidad de plaguicidas en el tomate tiende a ser una condición común a su producción, ya que la mayoría de los productores realizan aplicaciones frecuentes de insumos químicos durante el ciclo del cultivo para asegurar un buen rendimiento, lo que aumenta la exposición a dichos plaguicidas y, durante la cosecha se dificulta cumplir con los periodos de carencia establecidos para cada plaguicida aplicado, incrementando el riesgo de residualidad en el producto final (figura 13).

Con esto en cuenta, es imperativo contar con alimentos inocuos que contribuyan con la salud ambiental y la salud humana, para esto, la implementación de esquemas de producción sostenible que integren alternativas de manejo amigables con el ambiente contribuirá a este propósito.

Figura 13. Ingredientes activos de plaguicidas identificados en muestras de tomate provenientes de fincas que emplean un manejo convencional.

Fuente: Convenio 2129, suscrito entre Agrosavia-Asohfrucol.



03

Alternativas para un manejo sostenible del cultivo de tomate

Para mitigar los efectos adversos, es fundamental adoptar un enfoque de Manejo Integrado del Cultivo (MIC) que permita reducir la dependencia de agroquímicos. El MIC propuesto incluye principios de agricultura ecológica, agroecología, agricultura 4.0 y el enfoque SAT de Asohofrucol, que en conjunto permiten hacer un proceso transicional hacia una agricultura más sostenible. En este capítulo se presentan diferentes alternativas organizadas por etapas fenológicas del cultivo de tomate bajo cubierta, que fue consolidada a través de ejercicios participativos con organizaciones campesinas en Boyacá y Cundinamarca (figura 14).

Figura 14. Ejercicios de co-construcción de un plan de manejo ambiental con organizaciones de productores de tomate en Boyacá.

Foto: Diego Rojas-Ramírez.



Planificación del cultivo

El cultivo de tomate tiene un ciclo fenológico que depende de diferentes factores como la zona donde se establece, la fertilidad del suelo, la temperatura, la humedad relativa del ambiente, la radiación solar, la disponibilidad de agua, la fitosanidad, entre otros factores que deben ser considerados previamente a la siembra, por ende, el ciclo completo puede estar entre 90 y 120 días desde el trasplante hasta la cosecha.

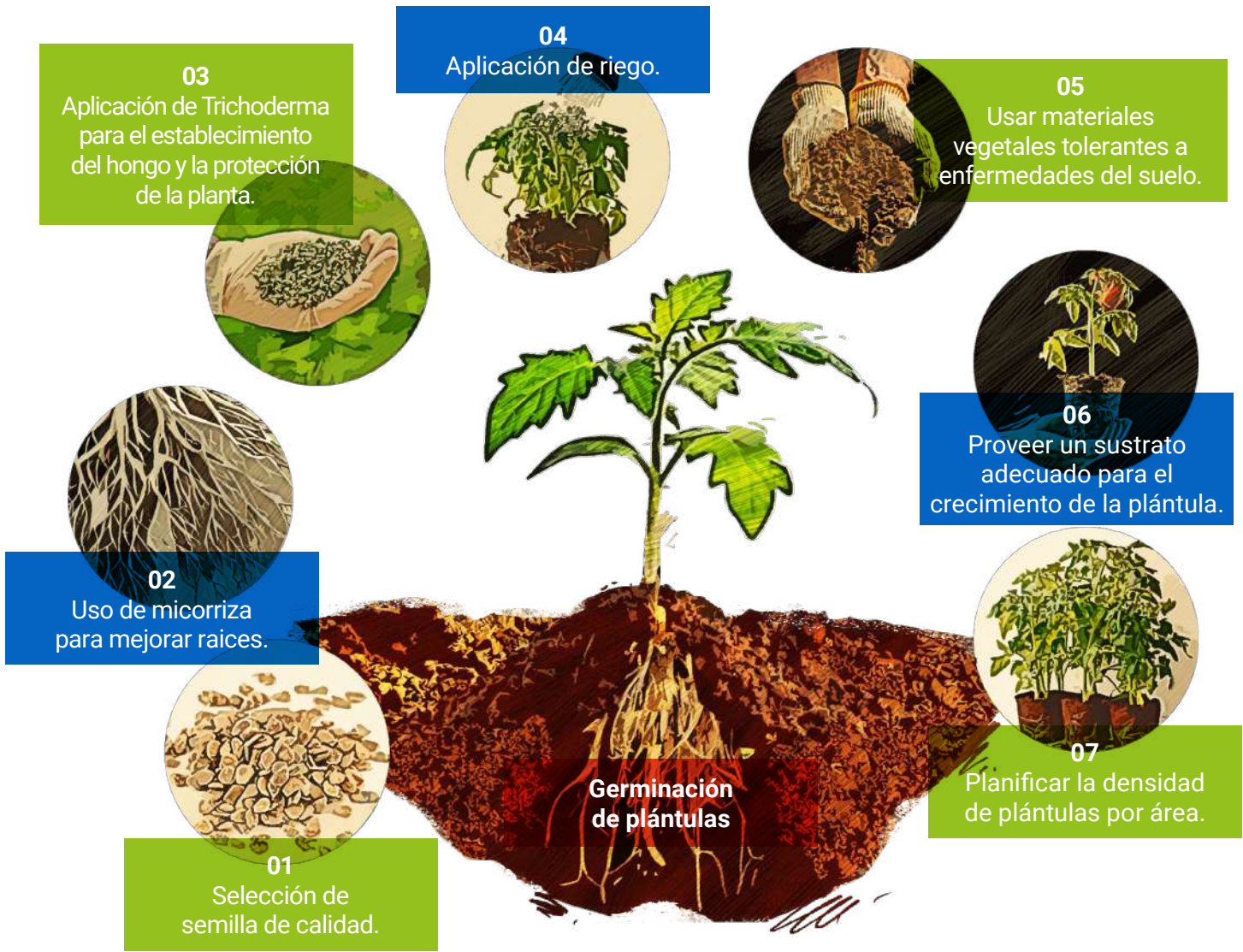
Para la preparación del terreno se deben incluir prácticas dirigidas al diseño eficiente de la infraes-

tructura, pendiente del terreno, gestión del micro-clima, protección del suelo y planificación de la fertilización a partir de análisis de suelo (figura 15).

Durante esta etapa se hace la multiplicación de material vegetal de siembra. Es clave conside-

Figura 15. Prácticas propuestas por productores para implementar en la etapa de planificación del cultivo.

Fuente: elaboración propia.



rar los aspectos que se proponen en la figura 15, donde se incluye el uso de semilla de calidad y la inoculación con microorganismos que mejoren la capacidad de absorción de nutrientes y otros que favorecen la protección contra enfermedades del suelo que pueden ser productos comerciales que se obtienen en el mercado o mediante el uso de biopreparados que se emplean en el modelo SAT. Respecto al material vegetal de siembra, debe propagarse preferiblemente en bandejas con alveolos para evitar entrelazamiento entre raíces de diferentes plántulas, el uso de sustratos inertes como turba o mezclas de sustratos previamente desinfectados es recomendable. En esta etapa es clave un riego adecuado para un correcto crecimiento de las plántulas.

Para propender por un buen desarrollo de las plántulas, en semillero se recomienda la aplicación de micorrizas, *Bacillus* spp., y *Trichoderma* spp. Se recomienda utilizar la injertación en donde el portainjerto o patrón sea un material tolerante a enfermedades del suelo y en copa, emplear materiales con demanda en el mercado al cual se orienta la producción. Cabe resaltar que la injertación implica cortes a las plantas con cuchillas por lo que se debe tener especial cuidado y realizar desinfección de estas entre cortes. Las plantas injertadas son dispuestas a periodos de oscuridad para favorecer la correcta cicatrización del punto de injerto.

Adecuación del suelo e infraestructura

En esta etapa y previamente al trasplante se deben planificar prácticas dirigidas a la protección del suelo y de la biodiversidad funcional, así como estrategias culturales para la prevención del riesgo fitosanitario al interior de la cubierta. Aplicaciones iniciales o refuerzos de productos biológicos registrados para el cultivo a base de *Trichoderma* spp.,

y *Bacillus* spp., así como de biopreparados del modelo SAT entre otros, aseguran mejores condiciones del suelo y en consecuencia, mejor adaptación y crecimiento de las plántulas.

Es importante considerar el uso de análisis de suelo y agua para planificar la fertilización y corregir el agua, si es necesario (figura 16). El análisis de suelo permite conocer el estado de este en cuanto a niveles de nutrientes (elementos mayores y menores), estructura (porosidad y estabilidad de agregados), pH y capacidad de intercambio catiónico. Esto favorece el uso racional de fertilizantes de síntesis química, la aplicación de enmiendas adecuadas y el uso de microorganismos que promuevan la solubilización y asimilación de nutrientes como fósforo y nitrógeno en un plan de fertilización integrado.

Existen métodos artesanales para realizar un diagnóstico rápido de suelos, como el uso de plantas indicadoras (por ejemplo, el helecho indica acidez), reacciones químicas (el agua oxigenada reacciona con la materia orgánica del suelo), compuestos orgánicos indicadores (el jugo de repollo morado cambia de color según el pH: rojo-naranja en suelos ácidos y azul-verdoso en suelos alcalinos), y la observación directa (la diversidad de organismos en el suelo indica buena actividad biológica, y los colores más oscuros indican alta materia orgánica). Estos métodos no sustituyen un análisis de suelo, pero son alternativas viables cuando no se cuenta con recursos.

Por otro lado, el análisis de agua permite identificar el pH, la dureza (carbonatos, bicarbonatos y sulfatos), la salinidad (compuestos con sodio, cloro y nitrógeno), y la relación de adsorción de sodio (RAS) (concentración de sodio en relación con calcio y magnesio) presentes en las aguas empleadas en el riego. Esto posibilita realizar correcciones a tiempo y evitar alteraciones que pueden afectar la eficacia de fertilizantes, plaguicidas (orgánicos, biológicos y

de síntesis química), así como la calidad de los biopreparados elaborados con estas aguas. Actualmente, existen equipos portátiles en el mercado que miden pH, conductividad eléctrica y sólidos totales. El uso de estos equipos facilita el monitoreo constante del agua utilizada en el cultivo, bien sea en el riego para la preparación de insumos artesanales o en general en las aplicaciones que se efectúen en el cultivo.

En esta etapa, la adecuación del suelo debe considerar mantener el equilibrio natural de microorganismos o brindar las condiciones para que este equilibrio sea recuperado si así se requiere. Por otra parte, el uso de biopreparados de buena calidad mejora considerablemente la microbiota del suelo: en ejercicios con productores que emplean algunos productos como el humato potásico, el supermagro, y los microorganismos de montaña se observó una mejora en la actividad microbiana del suelo (Camacho Céspedes *et al.*, 2018). En procesos de transición hacia prácticas más sostenibles, la aplicación de microorganismos permite la regeneración de vida en los suelos e incentiva la llegada de

Paso 3
Inspección de las condiciones de la estructura cubierta, sistema de riego y sistema de tutorado.



Paso 4
Incorporación de materia orgánica compostada y corrección de pH según análisis de suelo.



Paso 5
Aplicación de microorganismos benéficos al suelo.



Paso 6
Trazo y preparación de surcos.



Paso 2
Manejo de arvenses.



Paso 1
Realizar análisis previos de suelo y agua.



Adecuación de suelo e infraestructura



Paso 7
Establecimiento de cultivos trampa o barreras vivas y trampas para la identificación de puntos de ingreso de posibles plagas del cultivo (por ejemplo, trozadores).

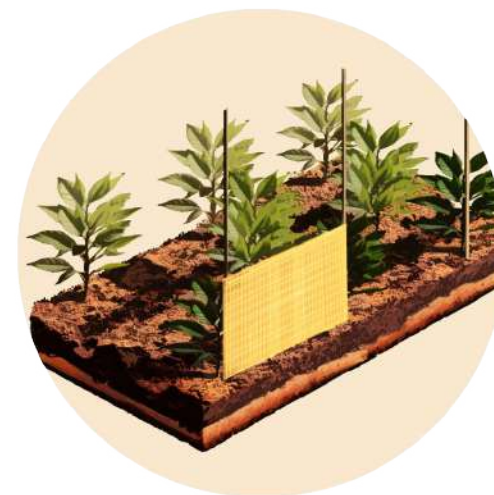


Figura 16 Prácticas propuestas por productores para implementar en la etapa de adecuación del suelo e infraestructura.

Fuente: elaboración propia.

meso y macrofauna que son indicadores de la salud del suelo y favorecen diferentes procesos como se describe en la figura 17.

Por otra parte, el manejo sostenible del cultivo de tomate exige un monitoreo de las condiciones de las cubiertas. Se sugiere la implementación de soluciones innovadoras en el diseño para invernaderos, mediante el uso de materiales de cubierta avanzados y eficientes. Las estructuras de cubierta deben adaptarse a las condiciones climáticas locales, incorporando materiales de bajo impacto ambiental, como plásticos de larga duración y luminiscentes, que mejoran la transmisión de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) y aumentan la eficiencia lumínica (Villagrán et al., 2023).

El uso de mallas fotoselectivas y de pantallas para el mejoramiento de la eficiencia energética juega un papel crucial al permitir la selección de longitudes de onda específicas que optimizan la fotosíntesis, al tiempo que reduce el estrés térmico, hídrico y adicionalmente mejora la calidad de los frutos (Maraveas et al., 2023). Es esencial elegir mallas antiinsectos con el tamaño de poro adecuado que equilibre la exclusión efectiva de plagas y la ventilación óptima en las áreas de ventilación ya que poros muy grandes pueden facilitar el ingreso de plagas, y poros muy pequeños reducen significativamente el flujo de aire creando un microclima extremo para el cultivo (Molina-Aiz et al., 2017; Villagran, 2021).

Figura 17. Algunos organismos presentes en los ecosistemas del suelo y sus funciones.

Fuente: elaboración propia.

Microorganismos

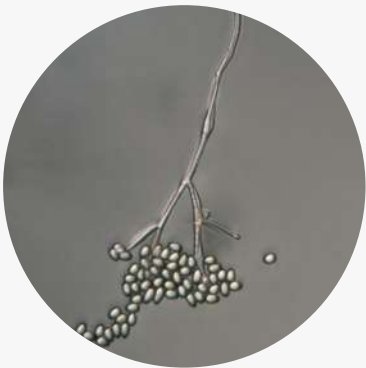


Foto: BGMA. Vega, A.

Hongos

(*Trichoderma* spp., *Penicillium* spp., *Metarhizium* spp., *Aspergillus* spp., Micorrizas como *Glomus* spp., *Gigaspora* spp., *Acalouspora* spp., *Intraspora* spp.).

- Mediante la descomposición de la materia orgánica contribuyen con el ciclo de nutrientes.
- Llevar nutrientes a las plantas a través de las hifas (micorrizas). Contribuyen a la agregación y estructura del suelo.
- Contribuyen a la dinámica del agua.
- Control de patógenos e insectos plagas.
- Promueven el crecimiento vegetal.



Foto: Mauricio Camelo-Rusique.

Bacterias – Actinobacterias

(*Pseudomonas* spp., *Bacillus* spp., *Agrobacterium* spp., *Azotobacter* spp., *Azospirillum* spp., *Streptomyces* spp., *Actinomyces* spp., *Frankia* spp.).

- Mediante la descomposición de la materia orgánica contribuyen con el ciclo de nutrientes.
- Contribuyen a la agregación y estructura del suelo.
- Transforman el nitrógeno y fósforo a formas asimilables por las plantas. Control de patógenos e insectos plagas.
- Promueven el crecimiento vegetal.
- Descomponen y degradan productos de síntesis química.



Foto: Diego Rojas-Ramírez.

Nematodos

(*Dorylaimida* spp., *Rhabditida* spp., *Tylenchida* spp.).

- Contribuyen a la liberación de nutrientes al suelo.
- Contribuyen a la propagación de microorganismos.
- Se alimentan de bacterias, hongos y protozoos influyendo en la composición de la comunidad microbiana del suelo.
- Control de patógenos e insectos plagas.

- Tipo**
- Grupo**
- Funciones**



Fuente: tomado de web soilhub.international.

Protozoos

(*Mayorella* spp., *Euglypha* spp., *Pseudoplatyophrya* spp.)

Aportan entre el 40 % y el 80 % de la disponibilidad del nitrógeno a las plantas mediante la depredación de bacterias.



Fuente: tomado de web agrologia.wordpress.com

Algas microscópicas

(Euglenófitas, diatomeas, dinoflagelados).

Captan el CO₂ atmosférico, contribuyendo al almacenamiento del carbono en el suelo.

Macrofauna
(animales entre 2 y 20 mm)



Foto: Camilo Beltrán-Acosta.

Lombrices, artrópodos

(Escarabajos, hormigas, cucarachas, termitas), arácnidos (arañas, ácaros, escorpiones), moluscos (caracoles y babosas).

Descomponen la materia orgánica, dejando disponibles los nutrientes en la rizósfera y estimulan la actividad microbiana.

Contribuyen a la agregación del suelo.

Contribuyen con el aumento de la aireación y el flujo del agua en el suelo.

Contribuyen en el balance de organismos plaga.

Mesofauna
(animales entre 0,1 a 2 mm)



Foto: Erika Valentina Vergara.

Colémbolos, enquitréidos, ácaros, dipluros, sínfilos.

Descomponedores de materia orgánica.

Regulan las comunidades bacterianas, fúngicas y algáreas del suelo.

Crean poros contribuyendo con la aireación y el flujo del agua.

- Tipo**
- Grupo**
- Funciones**

El diseño de las estructuras de los invernaderos debe considerar la obtención de índices de ventilación adecuados para garantizar un microclima óptimo. La combinación de ventilación natural y por efecto térmico puede maximizarse mediante la incorporación de áreas de ventilación cenital más amplias y una altura de los invernaderos, facilitan el flujo y circulación de aire, reduce la temperatura interna y disminuye el consumo energético contribuyendo a la resiliencia y productividad del cultivo. Se recomienda la instalación de equipos para la medición de parámetros como la temperatura, humedad relativa y concentración de CO₂. En la actualidad se pueden adquirir equipos análogos y digitales que permiten un seguimiento permanente de las condiciones del cultivo incluso en horas de la noche, lo cual permite tomar decisiones en torno a la gestión del cultivo.



Etapa de trasplante

La etapa de trasplante es muy corta si se tiene en cuenta todo el ciclo productivo del cultivo de tomate, no obstante, es de bastante cuidado para evitar pérdida de plantulas. En la figura 18 se plantean los ejes fundamentales que se deben considerar para un manejo sostenible.

La estructura del suelo tiene textura, porosidad y materia orgánica, que son características ideales en un suelo fértil. Una opción de mejora a bajo costo es la incorporación de cubiertas del suelo con plantas vivas que ofrezcan otros beneficios como fijación de nitrógeno, alelopatías, atracción de insectos benéficos y acción repelente de insectos plaga. Asimismo, la utilización de abonos verdes que extraen nutrientes de las partes más profundas del suelo y los depositan en la superficie en forma de materia orgánica, la incorporación de esta alternativa se incluye en la etapa del trasplante porque se puede realizar a la par con esta actividad. Cuando ya se tienen plantas aromáticas y abonos verdes establecidos al interior de la cubierta, su mantenimiento consiste en podas, lo que no repercute en costos adicionales para el productor.

Otra alternativa es usar coberturas sintéticas que pueden instalarse pocos días antes del trasplante, lo que permite acceder a sus bondades en cuanto se trasplanta. Algunos beneficios reportados son la disminución de la competencia por nutrientes del cultivo principal con plantas arvenses y reducir la evapotranspiración. Sin embargo, la implementación de este tipo de coberturas debe ser objeto de planificación ya que una mala gestión de esta alternativa puede incrementar costos y constituirse en un residuo adicional.

El uso de trampas cromáticas pegajosas ha mostrado ser una buena herramienta para disminuir la población de adultos de mosca blanca (*T. vaporariorum*) pero deben ser parte de una estrategia de manejo integral. Por su parte, las trampas de luz led, han demostrado ser una alternativa efectiva para el control de adultos de polilla (*T. absoluta*), donde fuente de luz de longitudes de onda de 430 nm y 470 nm en combinación con feromona sexual logran capturar hasta 17 veces más polillas que con otros tipos de trampa (Castresana y Puhl, 2017).

Figura 18. Prácticas propuestas por productores para implementar en la etapa de trasplante.

Fuente: elaboración propia.

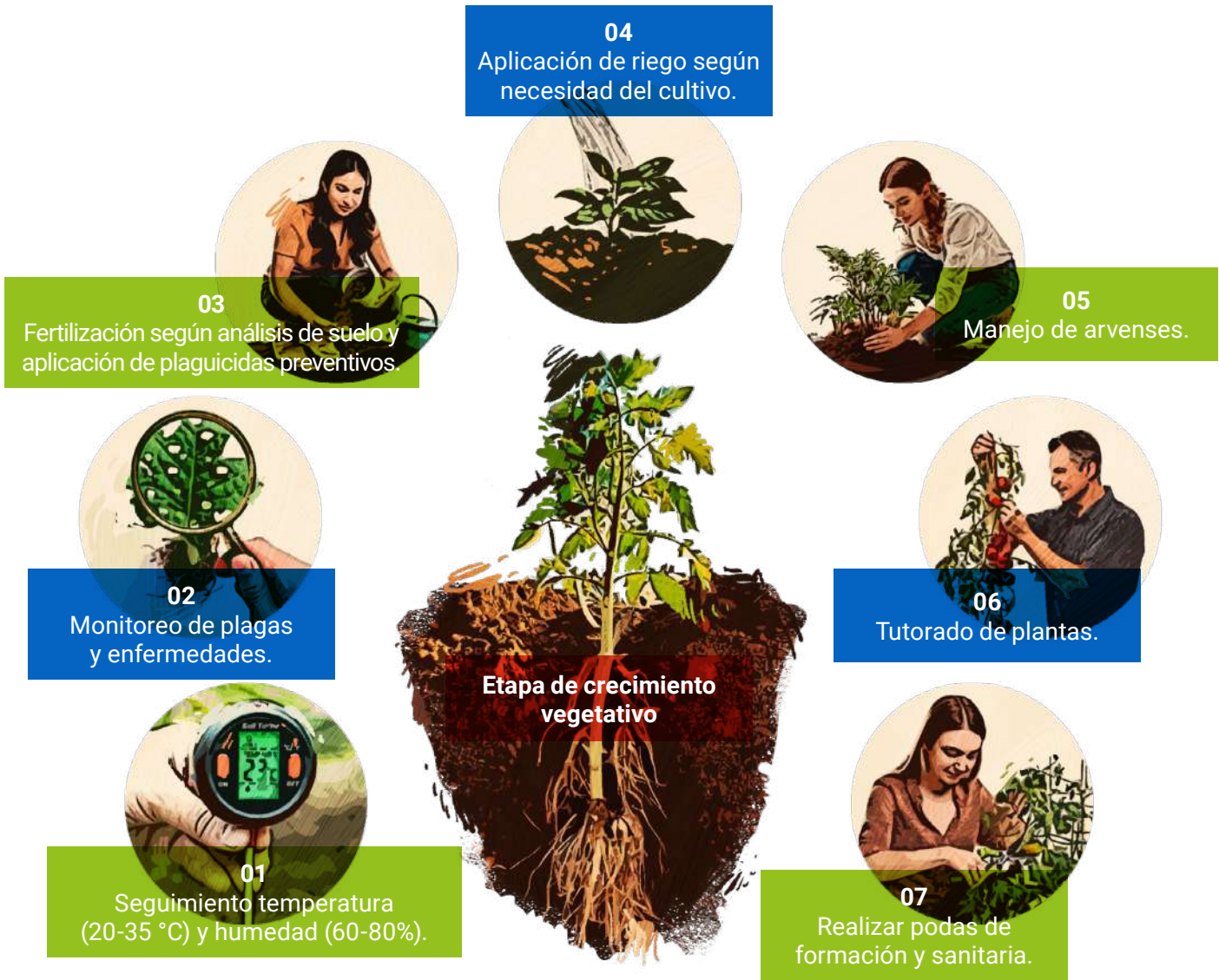
Crecimiento vegetativo

Durante la etapa de crecimiento vegetativo se incorporan prácticas de tutorado con alturas adecuadas, riego inteligente, monitoreo y diagnóstico adecuado de plagas y enfermedades para un control efectivo, podas de formación con la eliminación de ramas laterales haciendo uso de cicatrizantes vegetales a base de óxido de cobre y manejo de arvenses (figura 19). A lo largo de todo el periodo fenológico debe ser considerado el manejo de residuos orgánicos (residuos de deshoje, podas, deschupone y postcosecha), de manera que estos no se constituyan en inóculo de posteriores infestaciones de plagas y sean reincorporados al sistema de una manera eficiente y adecuada.

En esta etapa es clave un manejo racional de insumos para el manejo fitosanitario del cultivo, se recomienda realizar monitoreo permanente y aplicación de productos preventivos de fuentes, biológicas, orgánicas y minerales. El manejo integrado de diferentes alternativas biológicas como el uso de *Bacillus subtilis*, *Trichoderma*, y caldo supermagro, incluso intercalando con algunos insumos de síntesis química, pueden

Figura 19. Prácticas propuestas por productores para implementar en la etapa de crecimiento vegetativo.

Fuente: elaboración propia.



ofrecer resultados positivos para el manejo de organismos plaga. Para construir una agricultura sostenible es prioritario desarrollar estrategias de manejo integrado de plagas que incluyan el uso de alternativas de control amigables con el ambiente, las cuales permitan reducir el número de aplicaciones de plaguicidas de síntesis química, así como el número de principios activos utilizados por ciclo de cultivo.

En colectas de insectos y artrópodos llevadas a cabo en fincas que emplean el modelo SAT de Asofrucol se identificó la presencia de entomofauna benéfica, que puede favorecer servicios ambientales importantes en los agroecosistemas (figura 20). Especies de hormigas mejoran y enriquecen las propiedades físicas y químicas del suelo; debido a su comportamiento de construir nidos subterráneos, los escarabajos estercoleros enriquecen los horizontes del suelo, estimulando así la actividad de otros invertebrados importantes como los colémbolos y ácaros, y, además, incrementan relaciones que favorecen y aceleran el ciclaje de nutrientes.

Figura 20. Algunos insectos y sus funciones ecosistémicas.

Fotos: Yuly Sandoval.



Lobiopa sp. Nitidulidae
(Coleoptera),
micetofago (cucarrón).



Notiobia sp. Carabidae
(Coleoptera),
depredador (cucarrón).



Aupoplus sp. Pompilidae
(Hymenoptera), depredadora
(avispa cazadora).



Dyscolus sp. Carabidae
(Coleoptera), depredador
(cucarrón).



Pheidole sp., Formicidae
(Hymenoptera). Mejora la estructura
del suelo y el ciclaje de nutrientes.

tes y la circulación del nitrógeno (Lamuret y Martínez, 2005). La depredación, parasitismo, parasitoidismo, polinización, descomposición de materia orgánica, entre otros, los cuales contribuyen en los cultivos.

Es recomendable establecer plantas con flores, como caléndula y manzanilla, que acompañen el cultivo en el interior de la cubierta y especies como botón de oro y chicalá, y algunas especies de girasol en la periferia de cubiertas, contribuyendo de esta manera a la formación de nuevos nichos y a la colonización de nuevas especies de insectos benéficos que necesitan de ellos, no solo para su alimentación, sino para sus diferentes etapas de desarrollo.

Etapas de floración y cuaje de frutos

A lo largo de las etapas del cultivo se ha hecho énfasis en el uso de alternativas para la fertilización y la funcionalidad de insectos benéficos que pueden ser aprovechados en el cultivo de tomate. Durante la etapa de inicio de floración y el cuaje de frutos es común el aumento de insectos plagas y patógenos que afectan tanto botones florales como los primeros frutos que se forman. Por ello se usa un enfoque de manejo integrado de insectos plaga y patógenos que incluya el seguimien-

to de las condiciones ambientales al interior de la cubierta, un monitoreo de estos, utilización insu- mos alternativos de fuentes biológicas, orgánicas y minerales y en caso de ser necesaria, la aplicación de plaguicidas de síntesis química, considerando períodos de carencia y la rotación de ingredientes activos para así evitar el riesgo de inducir resis- tencia en los organismos objeto de control (figura 21).

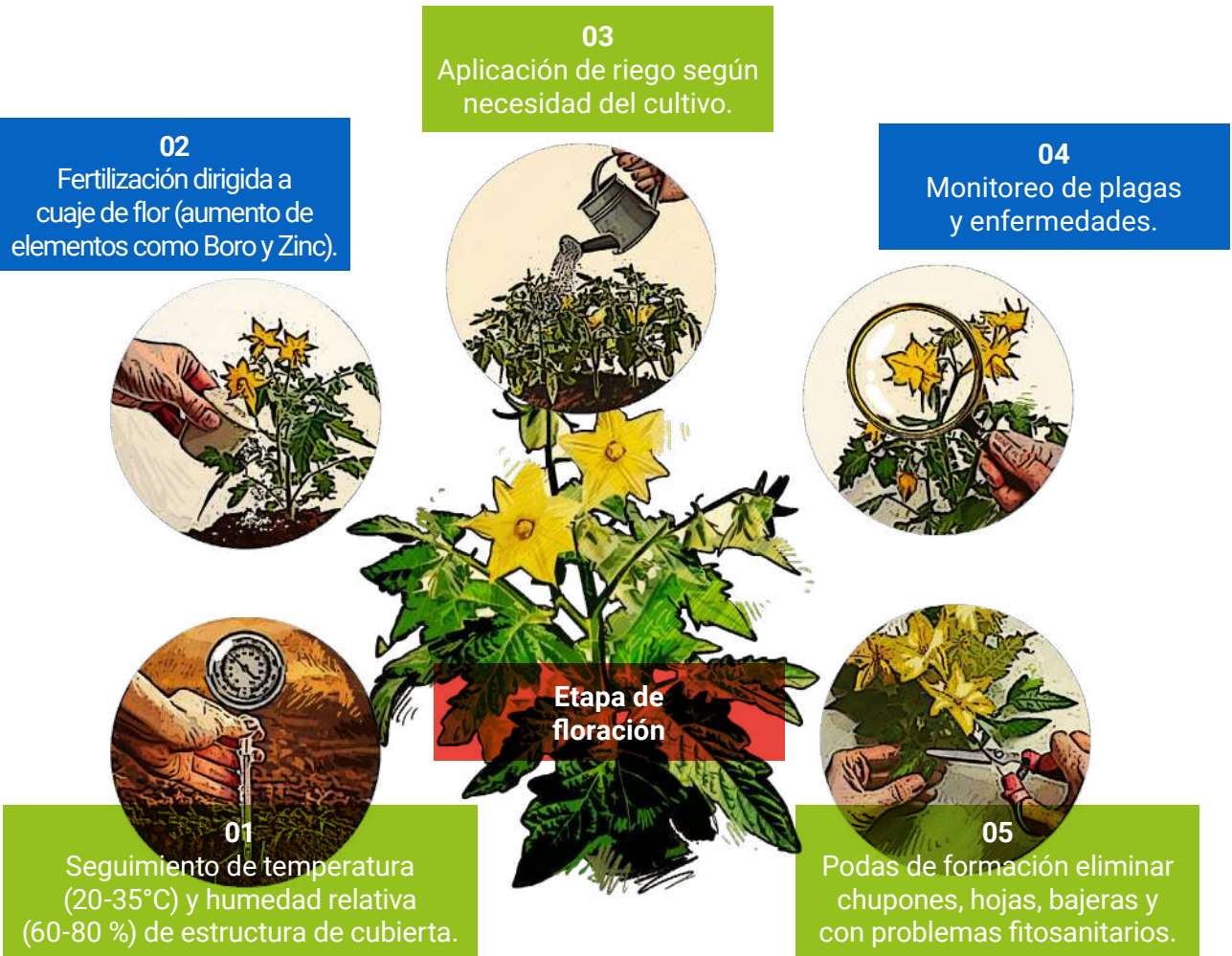
Dentro de los microorganismos más representa- tivos como principios activos de bioplaguicidas se

encuentran diferentes especies de *Trichoderma* o *Bacillus*, los cuales tienen actividad de control sobre patógenos como *Rhizoctonia solani*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Fusarium oxysporum* o *Botrytis cine- rea*; así entomopatógenos como *Beauveria* spp., *Metharizium* spp., *Akanthomyces lecanii*, o *baculo- virus* son utilizados en el control de insectos plaga como mosca blanca, *Tecia solanivora*, *Tuta absolu- ta*, *Spodoptera frugiperda*, entre otros (Moreno- Ve- landia et al., 2020; Samada y Tambunan, 2020).

No obstante, para obtener buenos resultados en el control es necesario realizar monitoreos y cono- cer algunos aspectos del ciclo de vida del patóge- no o plaga que se busca controlar, con el fin de optimizar la acción del agente de control bioló- gico mediante la aplicación en los momentos oportunos. En el mismo sentido, las aplicaciones

Figura 21. Prácticas propuestas por productores para implementar en la etapa de floración y cuaje de frutos.

Fuente: elaboración propia.



Fotos: Yuly Sandoval.

de *A. lecanii* para el control de mosca blanca se deben realizar en los primeros estados inmaduros del insecto (ninfas en segundo instar), cuando el insecto inicia su proceso de alimentación y es susceptible a la infección por el hongo, el cual se aplica por aspersión al envés de las hojas, que es el lugar donde este se encuentra.

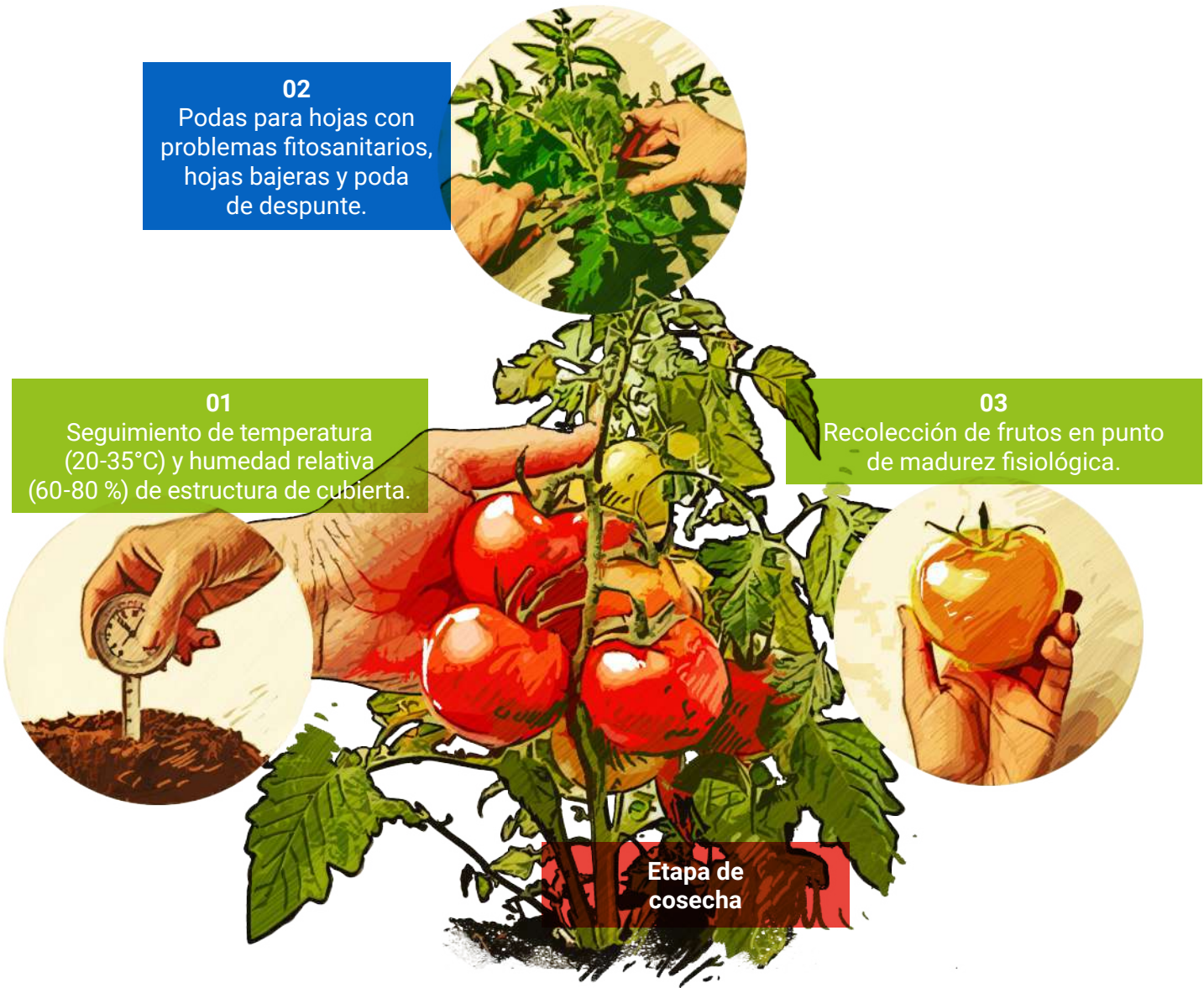
Etapa de cosecha

La obtención de cosechas redituables es el fin último de la agricultura, se espera que el tomate obtenido cumpla con los criterios de calidad que exige el mercado y con criterios de inocuidad para el consumo humano (figura 22).

Teniendo en cuenta lo anterior, se llevó a cabo un ensayo con tomate en condiciones protegidas para evaluar la contribución del modelo SAT, propuesto por Asohofrucol, en el rendimiento y producción del tomate chonto libertador. Se sembraron 890 plántulas de un mes de edad, a una distancia de 45 cm entre plantas y 120 cm entre camas, distribuidas en 5 tratamientos, cada

Figura 22. Prácticas propuestas por productores para implementar en la etapa de floración.

Fuente: elaboración propia.



uno con 4 repeticiones. Basados en el análisis de suelo se plantearon tratamientos para reducir la fertilización química, utilizando el caldo supermagro como fuente organomineral para suplir la nutrición de las plantas (figura 23).

Figura 23. Tratamientos evaluados en el ensayo de tomate bajo condiciones protegidas.

Los resultados demostraron que la fertilización organomineral al 50 %, suplementada con el biopreparado Supermagro, junto con la fertilización química al 50 %, produjo 8,2 kg por planta, lo que representa un 15,4 % más que el tratamiento con fertilización química al 100 % (figura 24). El uso de biopreparados como parte de una estrategia de fertilización integrada constituye una alternativa viable para el cultivo de tomate, ya que permite reducir el uso de agroquímicos, no solo

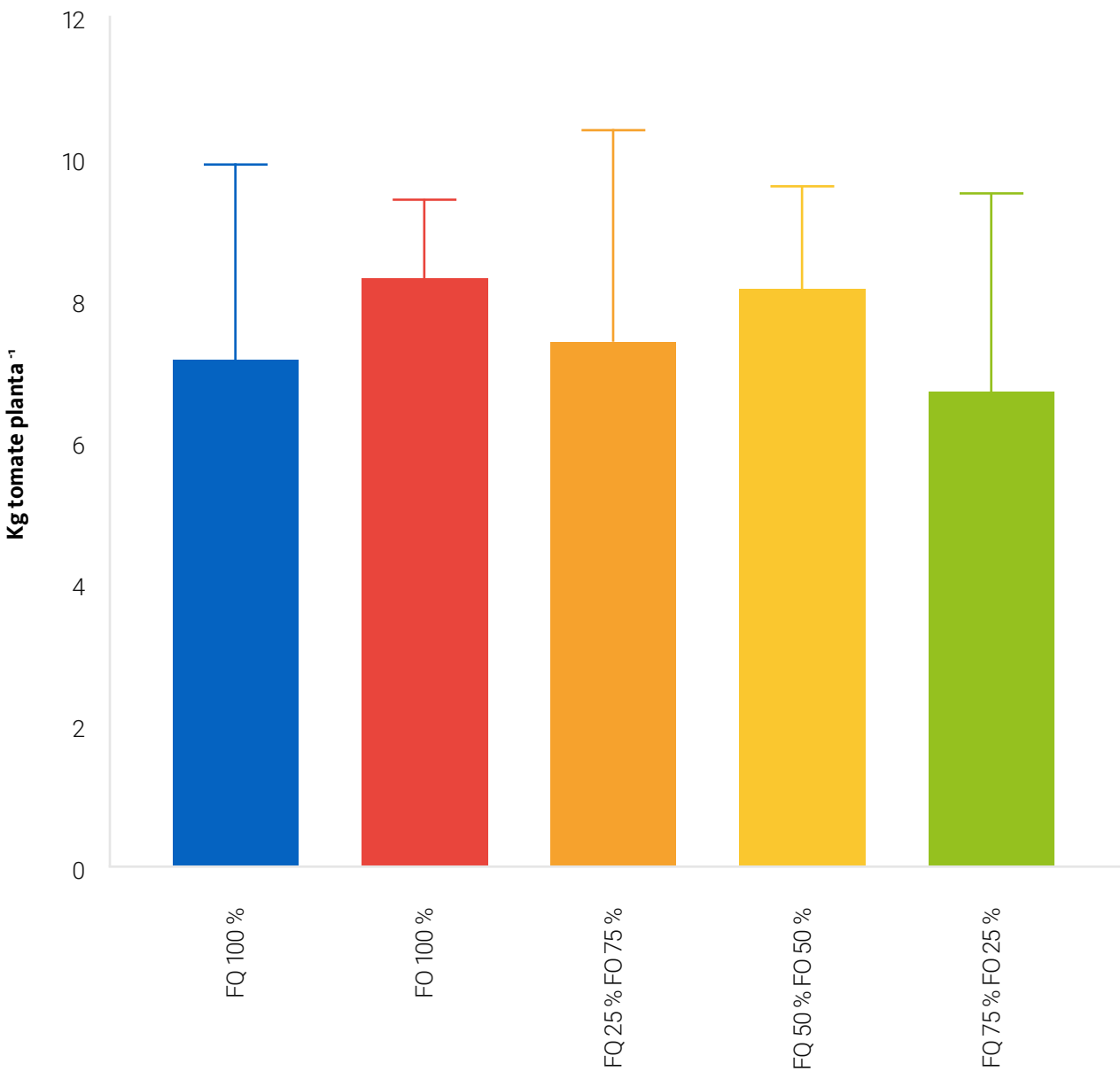
Tratamiento	Descripción
T1	Fertilización química al 100 %
T2	Fertilización química al 50 % + fertilización organomineral 50 %
T3	Fertilización organomineral 100 %
T4	Fertilización química al 25 % + fertilización organomineral 75 %
T5	Fertilización química al 75 % + fertilización organomineral 25 %



para la nutrición vegetal, sino también para el control de enfermedades e insectos plaga. Esta estrategia hizo que la residualidad de moléculas peligrosas y perjudiciales fuera nula en el presente estudio, demostrando que es posible obtener productos agrícolas inocuos, respetuosos con el medio ambiente, más sostenible y apta para el consumo humano.

Figura 24. Rendimiento de producción en cada uno de los tratamientos durante las cosechas.

Fuente: Convenio 2129, suscrito entre Agrosavia-Asohofrucol.



FO: fertilización orgánica.
FQ: fertilización química.



Foto: Camilo Rubén Beltrán-Acosta.

04

Mitigación de impactos y aprovechamiento de algunos residuos

La producción de tomate bajo cubierta, si bien permite un control más eficiente de las condiciones de cultivo y una mayor productividad, también produce una cantidad importante de residuos que pueden generar efectos negativos al ambiente. Entre estos residuos se incluyen restos vegetales, plásticos, sustratos usados y empaques de agroquímicos. Implementar estrategias efectivas para reducir estos impactos es fundamental para promover la sostenibilidad en la agricultura protegida. A lo largo del capítulo se examinan algunas aproximaciones y enfoques para el manejo adecuado de desechos orgánicos, plásticos y reutilización de la energía, que buscan no solo minimizar la huella ambiental de la producción de tomate, sino mejorar la sostenibilidad y eficiencia del sistema productivo.

La problemática planteada es una preocupación evidente en las regiones donde históricamente se ha establecido el sistema productivo de tomate bajo cubierta. Por esta razón, a nivel municipal y departamental se han generado políticas y lineamientos para el tratamiento de los residuos a partir de este cultivo. Aunque los planes de ordenamiento territorial y las campañas de gestión ambiental han aumentado el volumen de residuos que ingresan a programas de reaprovechamiento y disposición adecuada, estas medidas aún son parciales y no están disponibles para todos los productores. Un análisis de riesgo indica que existen diferentes tipos de residuos con distintas frecuencias como se observa en la figura 25.

Figura 25. Frecuencia y tipo de residuos generados en agricultura protegida.

Residuos quinquenales



- Plásticos de cubiertas desgastadas
- Mallas antiáfido dañadas
- Cintas de riego deterioradas

Residuos anuales o semestrales



- Biomasa residual: ramas, hojas
- Fruta con daños físicos

Residuos semanales



- Empaques metalizados de agroinsumos
- Envases plásticos peligrosos

Fotos: Diego Rojas-Ramírez.



Foto: Camilo Rubén Beltrán-Acosta.

Aprovechamiento de residuos orgánicos

Para el reaprovechamiento de residuos orgánicos en el cultivo de tomate bajo cubierta se plantean diversas estrategias que no solo reducen el desperdicio, sino que también pueden mejorar la sostenibilidad y productividad del

sistema agrícola (figura 26). Implementar estas estrategias puede transformar los residuos orgánicos en valiosos recursos, mejorando la sostenibilidad y eficiencia de la producción de tomate bajo cubierta.

Figura 26. Estrategias para el aprovechamiento de residuos orgánicos.



Fuente: elaboración propia.

Estrategias de mitigación de residuos plásticos y gestión de empaques de agroquímicos

En el cultivo de tomate bajo cubierta existen varias fuentes de residuos plásticos, como lo son: plásticos desgastados de las cubiertas, fibra de polipropileno para el tutorado y empaques plásticos de agroquímicos.

Para el caso de los plásticos de cubiertas existen opciones de mitigación del impacto, como el proceso de reciclaje o el uso de estos residuos en energías alternativas como una posible fuente de combustible. En la figura 27 se describe el proceso de alistamiento de las cubiertas plásticas por parte del agricultor antes del proceso de reciclaje por parte de un gestor externo.

Figura 27. Etapas de una correcta disposición de residuos plásticos generados en agricultura protegida.

- Al momento de desmontaje: doblar el plástico en paquetes de 25 a 30 Kg para evitar que se adhiera la tierra o agua.
- Acumulación de paquetes de plásticos de cubierta y entrega a la empresa recicladora.
- Reciclaje de plástico a cargo de un gestor externo (proceso de reciclaje mecánico).

Fuente: elaboración propia.



Los envases plásticos de agroquímicos se consideran residuos peligrosos porque contienen residuos químicos que en el proceso de su degradación pueden generar riesgos a la salud humana y afectar el entorno en que se encuentren dispuestos. Teniendo en cuenta esta problemática, la forma más efectiva de manejar y disponer los envases de agroquímicos es mediante dos gestiones: una gestión interna y la gestión externa. En la gestión interna se puede implementar la **técnica del triple lavado**, la cual consiste en lavar inmediatamente después de vaciar el envase de agroquímico con 3 enjuagues consecutivos (figura 28). Para el almacenamiento temporal (antes de su entrega al gestor externo) se deben tener en cuenta algunos aspectos como: contar con un lugar ventilado, provisto de cubierta y piso de fácil lavado, con puerta para evitar el ingreso de niños y animales, y retirado del área de vivienda, de las fuentes de agua, de pesebreras o de lugares de cría de animales, así como del cultivo y de las áreas dedicadas a la poscosecha.

Los empaques de agroquímicos deben entregarse en centros de acopio o puntos de recolección, que son espacios ubicados de manera estratégica y donde un gestor externo puede implementar un plan de gestión adecuado de desechos peligrosos.

Figura 28. Etapas para una adecuada implementación del triple lavado.

Fuente: elaboración propia.



- 1 → Vaciar en su totalidad el agroquímico.
- 2 → Depositar 1/4 del volumen total del envase con agua limpia, tapar y agitar por 30 segundos aproximadamente.
- 3 → Vaciar el producto resultante en la fumigadora.
- 4 → Repetir el proceso tres veces.
- 5 → Escurrir el envase por 30 segundos y perforarlo para evitar su reutilización.



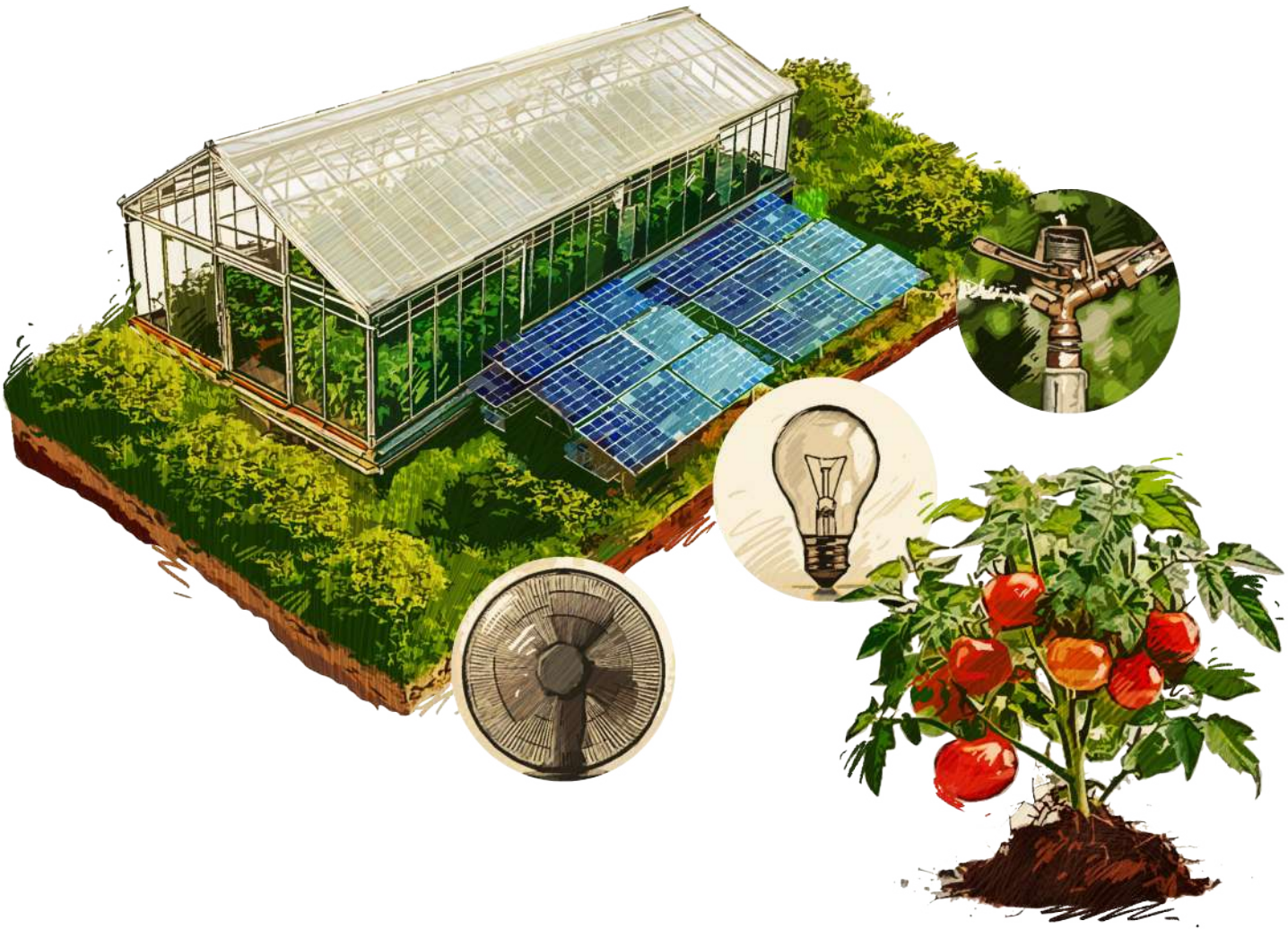
Energías alternativas para disminuir el impacto ambiental

El uso de energías alternativas en invernaderos presenta un enorme potencial para la agricultura sostenible, permitiendo una producción más eficiente y amigable con el medio ambiente. La energía solar, por ejemplo, puede ser aprovechada mediante paneles solares fotovoltaicos para generar electricidad, que a su vez puede alimentar sistemas de iluminación, calefacción, riego y ventilación dentro del invernadero (La Notte et

al., 2020). Los paneles solares pueden instalarse en el techo del invernadero o en estructuras adyacentes (figura 29), y existen diversos tipos, como los paneles

■ **Figura 29.** Usos potenciales de la energía solar fotovoltaica en tomate bajo cubierta.

Fuente: elaboración propia.



fotovoltaicos tradicionales y los paneles solares transparentes, que permiten el paso de la luz para el crecimiento de las plantas (Moretti & Marucci, 2019).

Asimismo, la energía geotérmica puede ser utilizada para mantener una temperatura óptima en el invernadero, extrayendo calor del subsuelo para la calefacción durante las noches frías y para el enfria-

miento durante los días cálidos, lo que se consigue mediante el uso de intercambiadores de calor, aire-tierra-aire u otras aplicaciones (Barbaresi et al.,

■ **Figura 30.** Usos potenciales de fuentes de energía alternativas en tomate bajo cubierta.

Fuente: elaboración propia.



2020). Además, la energía eólica puede usarse para generar electricidad mediante aerogeneradores, proporcionando una fuente constante y renovable para el funcionamiento de equipos de climatización o riego dentro del invernadero (figura 30).

También se puede considerar el uso de biomasa (figura 31), a través de la quema de residuos orgánicos generados en el cultivo para producir energía térmica. En resumen, la integración de estas fuentes de energía no solo reduce la dependencia de

combustibles fósiles, sino que también disminuye los costos operativos a largo plazo, promueve la sostenibilidad del cultivo de tomate bajo invernadero y mejoran la resiliencia del cultivo frente a los efectos adversos del cambio climático.

Figura 31. Cultivo de tomate con suficiente biomasa de rama y follaje para futuros aprovechamientos.

Foto: Mauricio Camelo-Rusinque.



Bibliografía

Asohofrucol (2019). Programa de formación continua especializada: Porducción agroecológica de frutas y verduras (Corpocyt, Ed.). Asohofrucol.

Barbaresi, A., Maioli, V., Bovo, M., Tinti, F., Torreggiani, D., & Tassinari, P. (2020). Application of basket geothermal heat exchangers for sustainable greenhouse cultivation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 129, 109928

Bojacá, C. R., Wyckhuys, K. A. G., & Schrevens, E. (2014). Life cycle assessment of Colombian greenhouse tomato production based on farmer-level survey data. *Journal of Cleaner Production*, 69, 26–33.

Bojacá, C. R., Wyckhuys, K. A., & Schrevens, E. (2014). Life cycle assessment of Colombian greenhouse tomato production based on farmer-level survey data. *Journal of Cleaner Production*, 69, 26-33.

Butinof, M., Fernández, R., Muñoz, S., Lerda, D., Blanco, M., Lantieri, L., et al., (2017). Valoración de la exposición a plaguicidas en cultivos extensivos de Argentina y su potencial impacto sobre la salud. *Revista Argentina de Salud Pública*, 8(33), 8-15.

Camacho Céspedes, Fabricio, Uribe Lorío, Lidie-th, Newcomer, Quint, Masters, Karen, & Kinyua, Maureen. (2018). Bio-optimización del compost con cultivos de microorganismos de montaña (MM) y lodos digeridos de biodigestor (LDBIO). *Cuadernos de Investigación UNED*, 10(2), 330-341. <https://dx.doi.org/10.22458/urj.v10i2.2163>

Castresana, J., & Puhl, L. (2017). Estudio comparativo de diferentes trampas de luz (LEDs) con energía solar para la captura masiva de adultos polilla del tomate Tuta absoluta en invernaderos de tomate en la Provincia de Entre Ríos, Argentina. *Idesia (Arica)*, 35(4), 87-95.

Colimba-Limaico, J. E., Zubelzu-Minguez, S., & Rodríguez-Sinobas, L. (2022). Optimal irrigation scheduling for greenhouse tomato crop (*Solanum lycopersicum* L.) in Ecuador. *Agronomy*, 12(5), 1020

DANE. 2014. El cultivo del tomate de mesa bajo invernadero, tecnología que ofrece mayor producción, calidad e inocuidad del producto. Boletín mensual INSUMOS Y FACTORES ASOCIADOS A LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA. Diciembre 2014 • Núm. 30. www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/insumos_factores_de_produccion_dic_2014.pdf

Dirilgen, T., Herbertsson, L., O'Reilly, A. D., Mahon, N., & Stanley, D. A. (2023). Moving past neonicotinoids and honeybees: A systematic review of existing research on other insecticides and bees. *Environmental research*, 235, 116612. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116612>

Eng, M.L., Stutchbury, B.J., and Morrissey C.A. (2019). A neonicotinoid insecticide reduces fueling and delays migration in songbirds. *Science* 365, 1177–1180. DOI:10.1126/science.aaw9419

FINAGRO. (2021). Marco de Referencia Agroecológico: Tomate Chonto bajo invernadero. <https://www.finagro.com.co/sites/default/files/2022-07/MRA-Tomate-chonto-invernadero-Boyaca-Sutamarchan-Villa-de-Leyva.pdf>

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (1997). FAOSTAT statistical database. [Rome] :FAO. Fecha de revision: Septiembre de 2024

Gruda, N., Bisbis, M., & Tanny, J. (2019). Impacts of protected vegetable cultivation on climate change and adaptation strategies for cleaner production—a review. *Journal of Cleaner Production*, 225, 324-339.

Kardol,P,&DeLong,J.R.(2018).Howanthropogenic shifts in plant community composition alter soil food webs. *F1000Research*, 7, 4. <https://doi.org/10.12688/f1000research.13008.1>

La Notte, L., Giordano, L., Calabrò, E., Bedini, R., Colla, G., Puglisi, G., & Reale, A. (2020). Hybrid and organic photovoltaics for greenhouse applications. *Applied Energy*, 278, 115582.

Lamuret, J. P. & Martínez M. I. (2005). El impacto de productos veterinarios sobre insectos coprófagos: consecuencias sobre la degradación del estiércol en pastizales. *Acta Zoológica Mexicana* (n.s.), 21, 137-148.

Malhotra N, Chen KH-C, Huang J-C, Lai H-T, Uapi-patanakul B, Roldan MJM, Macabeo APG, Ger T-R, Hsiao C-D. (2021). Physiological Effects of Neonicotinoid Insecticides on Non-Target Aquatic Animals—An Updated Review. *International Journal of Molecular Sciences*. 22(17):9591. <https://doi.org/10.3390/ijms22179591>

Maraveas, C., Kotzabasaki, M. I., Bayer, I. S., & Bartzanas, T. (2023). Sustainable greenhouse covering materials with nano-and micro-particle additives for enhanced radiometric and thermal properties and performance. *AgriEngineering*, 5(3), 1347-1377.

Mendoza-Escalona, B., Torres-Rodríguez, D., Marcó, L. M., Gómez, C., Estanga-Barrios, M., & García-Orellana, Y. (2021). Concentración de metales pesados en suelos agrícolas bajo diferentes sistemas de labranza. (I. T. Metropolitano, Ed.) *Tecnológicas*, 24(51). doi:https://doi.org/10.22430/22565337.1738

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2021). *Cifras sectoriales de la Cadena de las Hortalizas en Colombia* Bogotá: Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

Molina-Aiz, F. D., Valera, D. L., & López, A. (2017). Numerical and experimental study of heat and mass transfers in an Almería-type greenhouse. *Acta Horticulturae*, 1170, 209–217. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1170.24.

Moreno-Velandia, C. A., Izquierdo-García, L. F., Zapata-Narváez, Y. A., Beltrán-Acosta, C. R., & Zuluaga-Mogollón, M. V. (2020). Tricotec® WG Biofungicida. Recomendaciones de uso y patógenos blanco. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia). https://doi.org/10.21930/agrosavia.brochure.7403787

Moretti, S., & Marucci, A. (2019). A photovoltaic greenhouse with variable shading for the optimization of agricultural and energy production. *Energies*, 12(13), 2589.

Mulé R, Sabella G, Robba L and Manachini B (2017) Systematic Review of the Effects of Chemical Insecticides on Four Common Butterfly Families. *Front. Environ. Sci.* 5:32. doi: 10.3389/fenvs.2017.00032

Muñoz-Quezada, M.T., Boris, L., Iglesias, V., Muñoz, M.P, Achú, E., Cornejo, C., Concha, C., Grillo, A & Brito, A.M. (2016). Plaguicidas organofosforados y efecto neuropsicológico y motor en la Región del Maule, Chile. *Gaceta Sanitaria*, 30(3), 227-231. https://dx.doi.org/10.1016/j.gaceta.2016.01.006

Navarro-González, Inmaculada, & Periago, María Jesús. (2016). El tomate, ¿alimento saludable y/o funcional?. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 20(4), 323-335. https://dx.doi.org/10.14306/renhyd.20.4.208

Samada, L. H. & Tambunan, U. S. F. (2020). Biopesticides as Promising Alternatives to Chemical Pesticides: A Review of Their Current and Future Status. *OnLine Journal of Biological Sciences*, 20(2), 66-76. https://doi.org/10.3844/ojbsci.2020.66.76

Sánchez-Bayo F (2012) Insecticides Mode of Action in Relation to Their Toxicity to Non-Target Organisms. *J Environment Analytic Toxicol* S4:002. http://dx.doi.org/10.4172/2161-0525.S4-002

Valbuena, D. S., Meléndez-Flórez, M. P., Villegas, V. E., Sánchez, M. C., & Rondón-Lagos, M. (2020). Daño celular y genético como determinantes de la toxicidad de los plaguicidas. *Ciencia En Desarrollo*, 11(2), 25–42. https://doi.org/10.19053/01217488.v11.n2.2020.11245

Vásquez Zapata, G. L., Herrera Orozco, L., Cantera Kintz J., Galvis Castaño, A., Diana A. Cardona Zea, D and Hurtado Sánchez, I. C. (2015). Metodología para determinar niveles de Eutrofización en ecosistemas acuáticos. *Revista de la asociación colombiana de ciencias biológicas*, 1(24): 112-128.

Villagran, E. (2021). Two-dimensional numerical study of the microclimate generated in three screenhouses for the climatic conditions of the colombian caribbean. *International Journal of Heat and Technology*. https://doi.org/10.18280/ijht.390215

Villagrán, E., Flores-Velazquez, J., Akrami, M., & Bojacá, C. (2022). Microclimatic Evaluation of Five Types of Colombian Greenhouses Using Geostatistical Techniques. *Sensors*, 22(10), 3925

