











PUNTOS CRÍTICOS Y DINÁMICAS SOCIOECOLÓGICAS DEL TOMATE  
(*SOLANUM LYCOPERSICUM* L.) BAJO CUBIERTA EN NÚCLEOS  
PRODUCTIVOS COLOMBIANOS

CRITICAL POINTS AND SOCIO-ECOLOGICAL DYNAMICS OF TOMATO  
(*SOLANUM LYCOPERSICUM* L.) CULTIVATION IN LOW-TECH GREENHOUSE  
SYSTEMS IN COLOMBIA

Karla Juliana Rodríguez-Robayo<sup>1</sup>, Víctor Camilo Pulido-Blanco<sup>2</sup>, Carlos  
Andrés Moreno-Velandia<sup>1</sup>, Diego Alejandro Rojas-Ramírez<sup>1</sup>, Eduardo  
María Espitia-Malagón<sup>1</sup>, Mauricio Camelo-Rusínque<sup>1</sup>, Andrea del Pilar  
Villarreal-Navarrete<sup>1</sup> y Yajaira Romero-Barrera<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Agrosavia. C.I. Tibaitatá, Km 14 vía Mosquera - Bogotá, Cundinamarca, Colombia, C.P. 250047

<sup>2</sup>Agrosavia. C.I. Tibaitatá, sede Tunja, calle 19 N° 9-35, oficina 902, Tunja, Colombia, C.P. 150001.

\*Autor para correspondencia: [kjrodriguez@agrosavia.co](mailto:kjrodriguez@agrosavia.co)

Manuscrito recibido el 03 de octubre de 2024. Aceptado, tras revisión el 22 de octubre de 2025. Publicado el 1 de marzo de 2026.

### Resumen

La producción de tomate en Colombia enfrenta el reto de equilibrar las demandas de mercado y disminuir el impacto sobre los ecosistemas. Aunque la productividad del cultivo ha aumentado, la dependencia de insumos externos como productos fitosanitarios, fertilizantes e infraestructura que generan residuos sigue siendo alta, por lo que transitar hacia un sistema productivo sostenible requiere el reconocimiento de los aspectos positivos y de mejora. Por lo anterior, el objetivo de este estudio es identificar puntos críticos del cultivo de tomate bajo cubierta en dos regiones geográficas diferentes de Colombia. Para esto, se usó el enfoque del marco de sistemas socioecológicos para facilitar la transición hacia sistemas productivos sostenibles. La metodología contempló la selección de 13 variables y 33 tópicos de análisis que fueron recogidos a través de la aplicación de entrevistas semiestructuradas a actores clave (32) y estructuradas a productores (124), identificándose 14 puntos críticos de los componentes sociales, ambientales y productivos, categorizados en: sistema de unidades y recursos, gobernanza, actores y sistemas productivos, e interacciones. Se destacaron los servicios ecosistémicos de provisión de agua y suelo, la tenencia de la tierra, la adopción de tecnologías y las prácticas de reducción de contaminantes. Estos puntos son clave para impulsar un cambio hacia una producción sostenible en las regiones estudiadas.

**Palabras clave:** Sostenibilidad, invernaderos, plaguicidas, residuos, inocuidad, prácticas sustentables.

---

**Abstract**

Tomato cultivation in Colombia must balance market demands while minimizing environmental impact. Despite productivity improvements, it still depends on external inputs such as phytosanitary products, fertilizers, and infrastructure that produce waste. Hence, the transition to sustainable cropping requires recognition of positive aspects and areas for improvement. This study aims to identify critical points in tomato cultivation under low-tech greenhouses in two different geographic regions in Colombia. The socio-ecological systems framework was adopted to promote a transition to sustainable production. The methodology considered the selection of 13 variables and 33 topics of analysis collected through the application of semi-structured interviews with key actors (32) and structured interviews with tomato producers (124). Fourteen critical points were identified across social, environmental, and productive components, categorized into: system of units and resources, governance, actors and production systems, and interactions. Notable points include ecosystem services related to water and soil provision, land tenure, technology adoption, and pollutant reduction practices. These points are crucial for driving a shift towards sustainable production in the regions studied.

**Keywords:** Sustainability, greenhouses, pesticides, residues, food safety, sustainable practices.

---

Forma sugerida de citar: Rodríguez-Robayo, et al. (2026). Puntos críticos y dinámicas socioecológicas del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo cubierta en núcleos productivos colombiano. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. Vol. 43(1):79-99. <https://doi.org/10.17163/lgr.n43.2026.04>.

---

## Orcid IDs:

Karla Juliana Rodríguez-Robayo : <https://orcid.org/0000-0003-0947-9372>

Víctor Camilo Pulido-Blanco : <https://orcid.org/0000-0002-1217-6877>

Carlos Andrés Moreno-Velandia : <https://orcid.org/0000-0001-8692-7613>

Diego Alejandro Rojas-Ramírez : <https://orcid.org/0000-0002-6092-7428>

Eduardo María Espitia-Malagón : <https://orcid.org/0000-0002-4690-393X>

Mauricio Camelo-Rusique : <https://orcid.org/0000-0001-8733-6655>

Andrea del Pilar Villarreal-Navarrete : <https://orcid.org/0000-0001-9580-6936>

Yajaira Romero-Barrera : <https://orcid.org/0000-0002-6512-7307>

## 1 Introducción

La producción de alimentos es un reto constante en todo el mundo (Pérez-Vázquez y cols., 2018). En América Latina, la producción se debate entre alcanzar los volúmenes y calidad requeridos en el mercado y disminuir el impacto sobre los ecosistemas (Benton y cols., 2021). No obstante, la selección de cultivos está determinada por una lógica minifundista (Berdegué y Escobar, 2004), donde predomina la rentabilidad sobre el impacto ambiental y sobre la salud del productor y del consumidor. Esto crea un mercado que valora más las características organolépticas que la inocuidad del producto.

Un ejemplo de dicha situación es el tomate (*Solanum lycopersicum* L.), que es la hortaliza que ocupa el primer lugar en producción mundial y el segundo lugar en superficie sembrada. China es el principal productor con 67.636.724,8 t en 2021; en América Latina y el Caribe, Colombia ocupa el quinto lugar con 875.436,86 t, después de México, Brasil, Argentina y Chile (FAOSTAT, 2023).

En Colombia, el cultivo de tomate se desarrolla tanto a campo abierto como en condiciones protegidas. Tanto el área como la producción bajo cubierta han mantenido una tendencia creciente en las últimas dos décadas, aumentando del 11% en 2009 al 41,45% en 2019. En 2022, se sembraron 10.079 ha a campo abierto con un rendimiento promedio de 27 t/ha, y 7.616 ha bajo cubierta, con un rendimiento promedio de 83,74 t/ha (Agronet, 2024). La diferencia en el rendimiento entre ambas formas de producción se debe al efecto de las cubiertas, las cuales optimizan el potencial productivo del material vegetal (J. Jaramillo y cols., 2012).

En 2022, Boyacá lideró la producción de tomate bajo cubierta en Colombia con 209.316 t. Aunque sigue entre las tres regiones más productivas, los rendimientos se han estancado en contraste con el crecimiento del área de producción, la cual aumen-

tó 590% en 7 años, alcanzando 2.185 ha (Agronet, 2024). Cundinamarca, en segundo lugar, reportó 869 ha cultivadas en el año 2022. Aunque el área de cultivo sigue aumentando en ambas regiones, el rendimiento ha mantenido una tendencia decreciente (Agronet, 2024).

En la transición hacia sistemas productivos sostenibles, en la que actualmente avanza el mundo (Food and Agricultural Organization, 2021), es fundamental el trabajo coordinado entre productores, técnicos e investigadores de diferentes áreas de conocimiento; de tal forma que, un sistema productivo se aborde como un medio de vida inmerso en dinámicas ambientales, socioeconómicas y culturales de un territorio. En este contexto, el objetivo del estudio es analizar el cultivo de tomate bajo cubierta, identificando los puntos críticos que pueden afectar el proceso de la producción sostenible en dos de las principales regiones productoras de Colombia, utilizando el marco de sistemas socioecológicos, un marco de análisis integral que permite proporcionar recomendaciones multidimensionales.

## 2 Materiales y métodos

### 2.1 Descripción de la zona de estudio

El trabajo considera dos regiones o núcleos dinámicos de la creciente producción de tomate bajo invernadero: La provincia de Oriente en Cundinamarca, municipios de Cáqueza, Choachí y Fómeque; y la provincia de Alto Ricaurte en Boyacá, municipios de Sutamarchán, Santa Sofía, Sáchica, Tinjacá y Villa de Leyva (Figura 1).

En la actualidad, los municipios estudiados producen aproximadamente el 27% del tomate cosechado bajo condiciones protegidas en Colombia, 150.669 t producidas en los municipios de Boyacá y 12.207 t producidas en los municipios de Cundinamarca (Agronet, 2023).

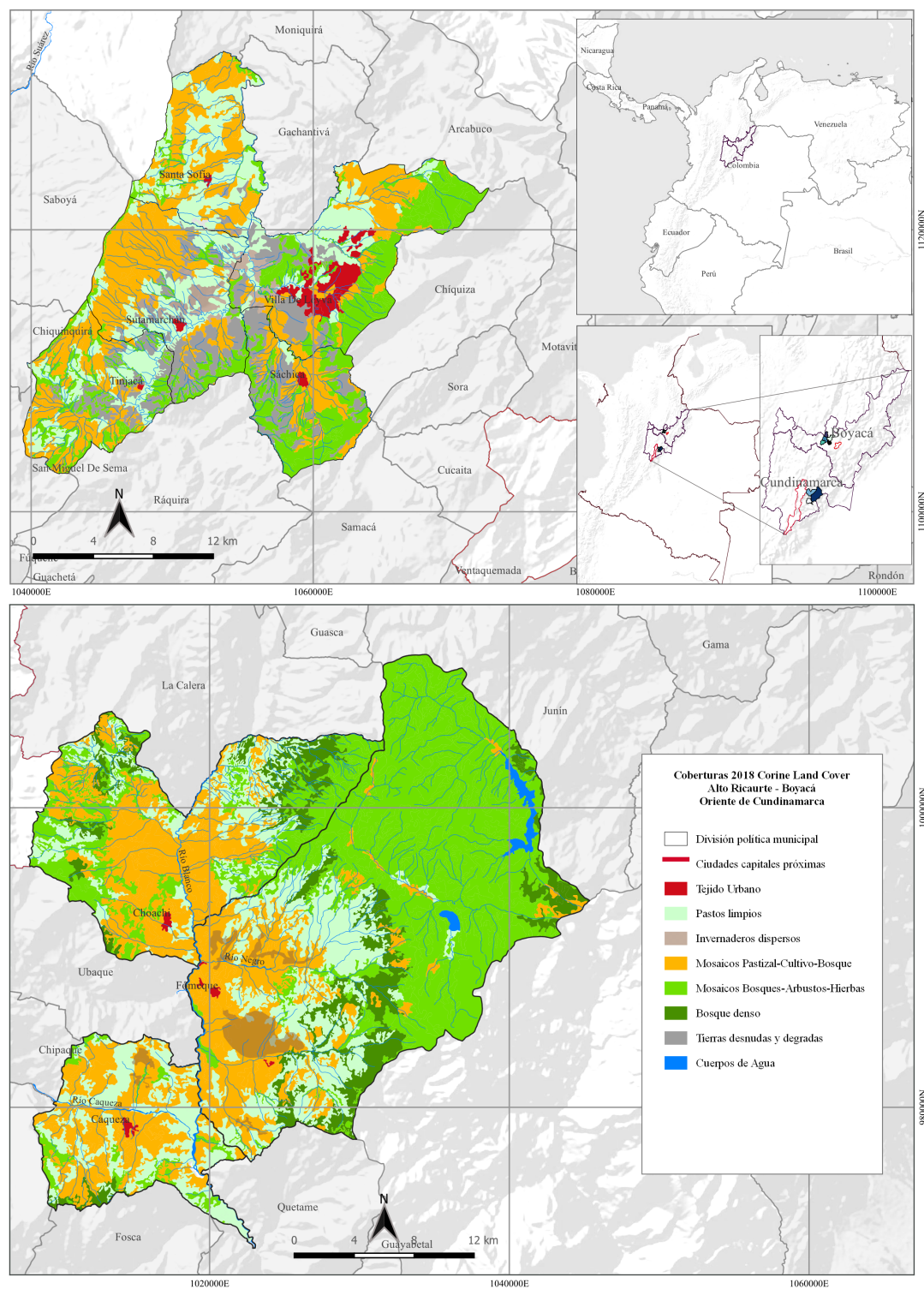


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio. Fuente: Los autores a partir de Corine Land Cover.

## 2.2 Componentes y variables para abordar el análisis de Sistemas Socioecológicos

El análisis de sistemas socioecológicos (SSE) integra las dimensiones ambiental y socioeconómica, lo que permite contar con una comprensión del territorio en la que se reconoce que agentes sociales y biofísicos interactúan y se retroalimentan en escalas múltiples, temporales y espaciales (Ostrom, 2009).

Existen diferentes propuestas teóricas para acercarse al análisis socioecológico; sin embargo, la propuesta de McGinnis y Ostrom (2014) se destaca por contar con una estructura organizativa clara, coherente, flexible y adaptable a diversos contextos (Nagel y Partelow, 2022), que son bondades que superan limitaciones tales como la complejidad en la interpretación de los resultados y la dificultad por integrar un enfoque dinámico en las variables (Hinkel y cols., 2015).

En Colombia, el marco se ha utilizado de manera exclusiva para abordar el manejo de recursos hídricos (Díaz-Pinzón y cols., 2024; Gomez-Jaramillo y cols., 2024), y más limitadamente para abordar sistemas alimentarios agroforestales (Rodríguez y cols., 2023) y cacaoeros (Quiroga y cols., 2024); de tal forma que este estudio representa un esfuerzo por avanzar en integrar la producción sostenible y el análisis de sistemas socioecológicos.

El marco desglosa los sistemas socioecológicos en cinco componentes:

- **Sistema y unidades de recurso:** describe los

recursos naturales disponibles en el territorio.

- **Gobernanza:** profundiza en los procesos de toma de decisiones como reglas, normas y tenencia de la tierra.
- **Actores y sistema productivo:** describe las características de la población de la región.
- **Interacciones:** describe las relaciones entre los componentes, como los problemas y conflictos presentes en el territorio.
- **Condiciones exógenas:** desarrolla las características sociales, económicas, políticas y ecosistémicas dadas. Este componente se abordó de manera complementaria a través de revisión de información secundaria.

Utilizando el método de consulta de expertos (Herrera-Masó y cols., 2022), que se asemeja al método Delphi (López-Gómez, 2018) en la conformación del panel de expertos, con la participación de investigadores con experiencia en tópicos ambientales, sociales, económicos y productivos con énfasis en suelos, plagas, enfermedades y poscosecha, se hicieron talleres y reuniones en modalidad híbrida (virtual y presencial) donde en las rondas de concertación se definieron un conjunto de variables a analizar en cada componente. Así, se consolidó una matriz con 13 variables y 33 tópicos (Tabla 1).

A partir de la información secundaria, se abordaron las condiciones exógenas, considerando las tendencias demográficas, los índices de marginación y pobreza, y las políticas de producción sostenible con incidencia en los territorios.

Tabla 1. Síntesis de variables de la matriz socioecológica

Componente	Variable	Tópico
Sistema y unidades de los recursos hídricos	Servicios ecosistémicos	SUR1. Actores clave que al ser consultados por los servicios ecosistémicos hacen mayor énfasis en las actividades productivas. SUR2. Servicios ecosistémicos más destacados por los actores clave. SUR3. Servicios ecosistémicos más reconocidos por los productores.
	Recursos hídricos	SUR4. Actores clave que perciben que el recurso hídrico es escaso y que la calidad del recurso hídrico es regular.

Continúa en la siguiente página...

Tabla 1 – continuación de la página anterior

Componente	Variable	Tópico
	Zonas de conservación	SUR5. Productores que perciben que en verano el agua es suficiente para las familias y los cultivos.
		SUR6. Actores clave que identifican zonas de conservación local, regional y nacional.
		SUR7. Productores que consideran que la protección de los recursos naturales es tan importante como la producción agropecuaria. SUR8. Productores que manifiestan contar con zonas de conservación en sus predios.
Gobernanza	Tamaño de la tierra	G1. Percepción de actores clave sobre el tamaño de la tierra (unidad productiva) por familia. G2. Superficie promedio trabajada por las familias de los productores.
	Tenencia de la tierra	G3. Percepción de los actores clave sobre el tipo de tenencia de la tierra. G4. Porcentaje de productores que se reconoce como propietario de la tierra.
	Organización local	G5. Actores clave que identifican organizaciones locales. G6. Productores vinculados a una organización local.
Actores y sistema productivo	Principales actividades económicas	A1. Principales actividades económicas identificadas por los actores clave. A2. Actores clave que perciben la importancia del cultivo de tomate en la región.
	Características de los productores de tomate	A3. Superficie promedio trabajada por las familias. A4. Edad promedio de los productores. A5. Escolaridad de los productores. A6. Tamaño de los hogares de los productores.
	Características relevantes del cultivo de tomate	A7. Productores por tipo y procedencia del material vegetal. A8. Productores por tipo de prácticas asociadas a la salud del suelo (desinfección y fertilización). A9. Productores afectados por los principales problemas fitosanitarios. A10. Productores por tipo de riego y fuente de agua. A11. Nivel de producción y porcentaje de productores por tipo de comercialización y certificación.
	Principales problemáticas productivas	A12. Principales problemáticas productivas percibidas por actores clave.
	Interacciones	Problemáticas ambientales
	Problemáticas sociales	I4. Principales problemas sociales descritos por actores clave.
	Prácticas orientadas a la sostenibilidad	I5. Productores que implementan por lo menos una práctica orientada a la sostenibilidad. I6. Principales prácticas orientadas a la sostenibilidad utilizadas por los productores.

### 2.3 Recolección y análisis de información

Se incluyó el diseño y aplicación de entrevistas semiestructuradas a actores clave (Conagua, 2013) y entrevistas estructuradas a productores de tomate. Estas herramientas se aplicaron entre diciembre de 2022 y febrero de 2023.

La selección de los actores clave se realizó a partir de la revisión de información secundaria y a través de las secretarías locales, reconociendo la experiencia en producción sostenible; así, se consideraron actores vinculados a procesos ambientales, sociales y productivos en la región. En el caso de los productores seleccionados, se trabajó en las veredas históricamente reconocidas por la producción de tomate, identificando los agricultores a entrevistar con líderes de cada región.

Los instrumentos diseñados se revisaron por los profesionales que ofrecen asistencia técnica en el cultivo de tomate en las dos regiones de estudio; y a la vez, el formato de entrevista estructurada se validó con cuatro productores, dos en cada región. Finalmente, las entrevistas estructuradas y semiestructuradas se aplicaron personalmente por investigadores que participaron en su diseño, quienes conocían el objetivo de los instrumentos y contaban con la capacidad de ampliar y explicar las preguntas cuando fuese necesario, lo que garantizó mejores tasas de respuesta e información acertada para las preguntas abiertas y cerradas que se diseñaron.

El formato de entrevista semiestructurada incluyó 16 preguntas y se realizaron 32 entrevistas a actores clave (16 por región): gobierno regional (1), local (18), técnicos independientes (3), viverista (1), líder técnico de proyecto (1), productores con experiencia en uso de prácticas sostenibles (7) y productor de bioinsumos (1). Las entrevistas fueron grabadas, transcritas y consolidadas para su posterior análisis.

El formato de entrevista estructurada incluyó 39 preguntas en cinco secciones. Se realizaron 124 entrevistas (62 por región) con un muestreo no probabilístico por conveniencia. La información fue colectada en físico, sistematizada y analizada con estadística descriptiva en Excel y análisis de correspondencia múltiple (Johnson y Wichern, 2002).

## 3 Resultados y discusión

A nivel local, la mayoría de los municipios en la zona de estudio son de sexta categoría. Esta clasificación se debe a su baja densidad poblacional, que no supera los 10,000 habitantes, y a sus ingresos corrientes de libre destinación, que anualmente son inferiores a 15,000 salarios mínimos legales mensuales vigentes (aproximadamente US\$ 5.517.441). Esta situación se traduce en estructuras organizacionales gubernamentales más pequeñas.

A escala regional, la zona de estudio se ubica en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá, los cuales están estratégicamente conectados a la capital del país. Según el Índice Departamental de Competitividad de 2023, estos departamentos ocupan las posiciones 9 y 10, respectivamente, de un total de 32 (Consejo Privado de Competitividad y SCORE-Universidad del Rosario, 2023). Ambos se destacan por sus avances en infraestructura, adopción de TICs, educación e innovación. Sin embargo, cada departamento enfrenta desafíos específicos. Boyacá debe mejorar en áreas como el entorno de negocios, el mercado laboral, el tamaño del mercado, y la sofisticación y diversificación de su economía. Por su parte, Cundinamarca tiene retos significativos en la sostenibilidad ambiental, la salud y el sistema financiero.

En materia de política pública, Colombia cuenta con un marco normativo sólido que promueve la agricultura sostenible, incluyendo la Ley General de Desarrollo Agropecuario y Pesquero (Congreso de Colombia, 1993), la Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible (MAVDT, 2010), y la Estrategia Nacional de Economía Circular (MADS y MCIT, 2019). Estos instrumentos han guiado la creación de planes de gobierno nacionales y departamentales con el objetivo de fomentar sistemas agrícolas sostenibles. No obstante, Pérez (2020) señala que es crucial mejorar la coordinación entre los sectores ambiental y agropecuario para implementar medidas que logren un equilibrio efectivo entre la conservación y la producción; así como un mayor esfuerzo para sensibilizar a los consumidores sobre la importancia de la calidad, inocuidad y el impacto de los productos alimenticios que consumen.

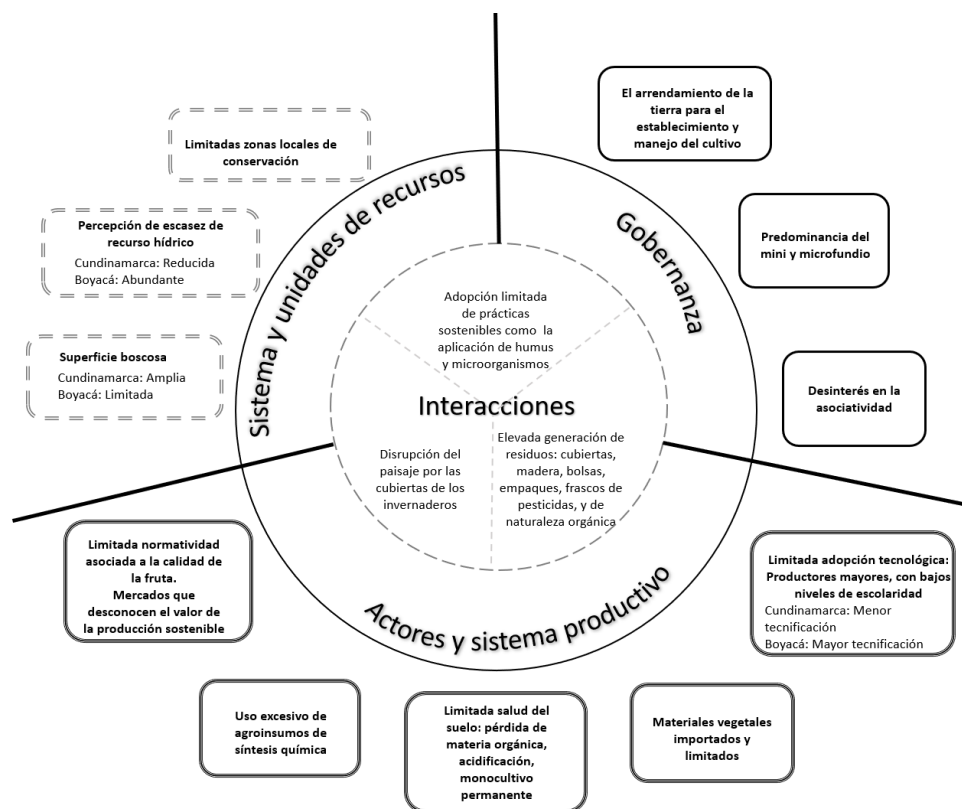


Figura 2. Síntesis de los puntos críticos identificados.

Entrando a analizar los demás componentes, se hallaron 14 puntos críticos organizados en los componentes de sistema y unidades de recurso, gobernanza, actores y sistema productivo e interacciones (Figura 2).

Antes de analizar los puntos críticos identificados, es importante resaltar que algunos de estos puntos se constituyen en bucles de retroalimentación del sistema, que explican la naturaleza compleja y los patrones asociados del comportamiento del sistema socioecológico (Preiser y cols., 2018).

De esta forma, los bucles de retroalimentación contribuyen a la comprensión de círculos viciosos de barreras que perpetúan y obstaculizan un sistema (Hanf y cols., 2025). La definición y comprensión de estos bucles favorece los procesos de toma de de-

cisiones (Rodríguez-Gonzalez y cols., 2020), en este caso orientadas a avanzar hacia una producción sostenible. Los bucles de los sistemas socioecológicos analizados en este estudio se relacionan principalmente con aspectos de los componentes de actores y gobernanza, relacionados con la tenencia de la tierra, la organización local y el rezago tecnológico.

### 3.1 Análisis de correspondencia múltiple

A partir del análisis de correspondencia múltiple, las dos primeras dimensiones generadas explican el 25,21% de la variabilidad de las observaciones registradas, que es un porcentaje adecuado (Asan y Greenacre, 2008) que permite diferenciar tres grupos de productores (Figura 3).

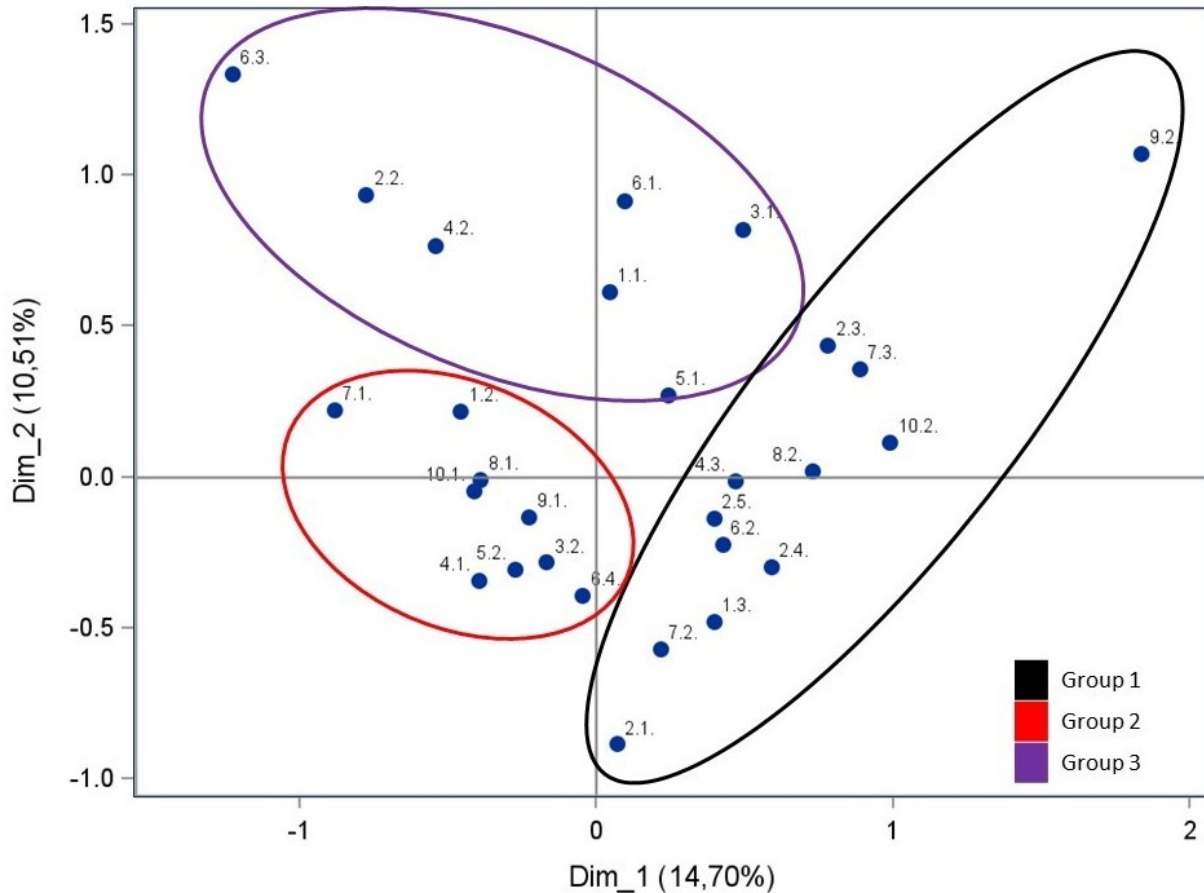


Figura 3. Análisis de correspondencia múltiple.

**Componente de Sistema y unidades de recurso:** 1. Disponibilidad de agua en verano (categorías: 1.1. A veces, 1.2. Insuficiente, 1.3. Suficiente); 2. Beneficios de la naturaleza (2.1. Agua para uso doméstico y cultivos, 2.2. Agua para uso doméstico y cultivos; alimentos y leña del bosque, 2.3. Agua para uso doméstico y cultivos; aire limpio y otros beneficios, 2.4. Aire limpio, Otros beneficios, 2.5. Otros beneficios); 3. Predios o áreas de conservación (3.1. Sí tienen, 3.2. No tienen). **Gobernanza:** 4. Tenencia (4.1. Arrendatario, 4.2. Otra tenencia, 4.3. Propietario). **Actores y sistema productivo:** 5. Análisis del suelo (5.1. Sí hacen, 5.2. No hacen); 6. Percibe afectación por agroquímicos (6.1. Sí, sobre el ambiente, 6.2. Sí, sobre las personas, 6.3. Sí, sobre las personas y el ambiente, 6.4. No). **Interacciones:** 7. Aplica biofertilizantes (7.1. No, 7.2. Sí, uno, 7.3. Sí, dos o más); 8. Hace prácticas para la protección del suelo (8.1. No, 8.2. Sí, una o dos); 9. Hace prácticas para la protección de la biodiversidad (9.1. No, 9.2. Sí, una o dos); 10. Aplica bioplaguicidas (10.1. No, 10.2. Sí, uno o más).

Grupo 1. Productores con orientación a la sostenibilidad: Propietarios de la tierra que afirman no tener escasez de agua y reconocen los beneficios de la naturaleza como provisión de aire limpio. Son conscientes del impacto negativo de los agroquímicos sobre la salud de las personas, por lo que incorporan prácticas orientadas a la sostenibilidad, como uso de biofertilizantes, bioplaguicidas y prácticas para proteger el suelo.

Grupo 2. Productores con agricultura tradicional: Arriendan la tierra, por ende, no poseen pre-

dios o áreas en conservación; perciben escasez del agua en verano y manifiestan no realizar análisis de suelo para la toma de decisiones en el manejo del cultivo. Estos productores dicen desconocer los efectos negativos del uso de agroquímicos y manifiestan no utilizar prácticas orientadas a la sostenibilidad en sus cultivos.

Grupo 3. Productores con conciencia ambiental y manejo convencional: Con otras formas de tenencia de la tierra (poseen el predio sin título, o en sociedad con otros productores), manifiestan con-

tar con predios o áreas en conservación y perciben que el agua algunas veces es suficiente en época de verano. Reconocen como servicios ecosistémicos la provisión de agua y la provisión de alimento y leña. Reconocen que el uso de agroquímicos afecta al ambiente y a las personas. Si bien estos productores manifiestan no realizar prácticas orientadas a la sostenibilidad, declaran hacer análisis del suelo en sus cultivos para la fertilización.

### 3.2 Sistema y unidades de recurso

Tres puntos críticos: superficie boscosa, percepción de escasez de recurso hídrico y zonas de conservación locales y regionales.

La percepción en torno a la disponibilidad de recurso hídrico fue contrastante entre las dos regiones, al igual que el reconocimiento de las zonas de conservación nacional. En Boyacá se percibe mayor

escasez de agua y se reconocen limitadamente las zonas de conservación, en comparación con Cundinamarca (Tabla 2).

En Boyacá se observó una baja área de bosque estable y de conservación, afectando los ecosistemas estratégicos. Ramos y cols. (2022) reportaron que los remanentes están desapareciendo debido a la expansión agropecuaria. En los municipios estudiados, el área de bosque estable no supera las 150 ha (Departamento Nacional de Planeación, 2023), es decir menos del 2% del área total.

La escasez hídrica ha impactado las actividades económicas, subrayando la necesidad de equilibrar acciones de conservación y producción. Es esencial identificar áreas de conservación y desarrollar estrategias de restauración y reconversión para recuperar la cobertura forestal.

**Tabla 2.** Resultados variables del sistema y unidades de recurso

Variable	Tópico	Boyacá	Cundinamarca
Servicios ecosistémicos	SUR1	56,2%	12,5%
	SUR2	Disponibilidad de recurso hídrico Suelos aptos para la agricultura	Disponibilidad de recurso hídrico
	SUR3	Agua para uso doméstico (87%) Alimento-leña (65%) Aire limpio (50%)	Agua para uso doméstico (71%)
Recurso hídrico	SUR4	93,8%	25%
	SUR5	26%	61%
Zonas de conservación	SUR6	Locales o regionales (37,5%) Nacionales (6,2%)	Locales o regionales (56,2%) Nacionales (37,5%)
	SUR7	98%	97%
	SUR8	35%	48%

En contraste, en Cundinamarca, los municipios cuentan con 3.000 y 6.000 ha de bosque estable (Departamento Nacional de Planeación, 2023), lo que representa cerca del 13% de su área total, garantizando buen acceso al recurso hídrico y una percepción de abundancia de agua. No obstante, el paisaje se ha transformado en un mosaico de fragmentos de bosque, pasturas, zonas de páramo y cultivos, con una tendencia a la disminución de áreas de

conservación y una mayor vulnerabilidad de las comunidades (Buitrago, 2022).

El análisis de correspondencia múltiple reveló que el grupo que implementa prácticas sostenibles percibe menos escasez del recurso hídrico y reconoce servicios ecosistémicos adicionales, como el aire limpio.

El análisis del componente de sistema y unidades de recursos permitió conocer tanto el estado de los recursos naturales esenciales para el desarrollo del cultivo, como el relacionamiento de los productores con la naturaleza; así se tiene que en Boyacá se percibe un mayor impacto de la actividad agropecuaria y unos recursos naturales cada vez más escasos, lo cual se relaciona con la ubicación geográfica e historia productiva de cada región. Al respecto, las formas de relación y aprovechamiento de los recursos naturales en cada región ocasionaron disrupciones distintas de la matriz paisajística. Esto es especialmente visible en Boyacá, donde el paisaje rural ha sido modificado por las cubiertas de los invernaderos, causando menor atractivo y afectando el turismo en zonas mundialmente reconocidas como el Valle de Villa de Leyva, sumándose a la percepción de escasez de agua, y subrayando la necesidad de transitar hacia una producción sostenible. Cundinamarca, debido al mayor recurso hídrico y la subsecuente mayor cobertura boscosa, no muestra una afectación tan acusada sobre el paisaje.

### 3.3 Gobernanza

Tres puntos críticos: predominancia de la propiedad privada y del minifundio en las dos regiones, así como la limitada participación en organizaciones locales (Tabla 3).

Un aspecto que vulnera a las comunidades tomateras y amenaza la estabilidad del sistema es la baja capacidad organizativa de los productores. El interés particular dificulta la articulación, lo que, según Escobedo (2018), también afecta a otras cadenas de valor como la del café. Esto resalta la necesidad de cooperación, compromiso y flujo de información con una visión de ganar-ganar; de lo contrario, el sistema fracasa por insuficiencia de conocimientos empíricos y falta de organización (Vargas-Hernández, 2013).

La producción de tomate bajo cubierta es intensiva y de pequeña escala, lo que impacta la sostenibilidad. Gamboa y cols. (2020) señalan una relación inversa entre sostenibilidad y tamaño predial. La pequeña dimensión de los predios limita la conservación de vegetación por priorizar el uso productivo. Además, el análisis de correspondencia múltiple muestra que los propietarios aplican prácticas más sostenibles que los arrendatarios.

Este hallazgo es importante en Colombia, que tiene un coeficiente Gini de 0,897 en propiedad de la tierra (Alzate, 2020), el tercero más alto en Latinoamérica, donde pocos poseen tierras y muchos son arrendatarios. Estos últimos no perciben las consecuencias del uso de la tierra más allá del interés económico, lo que resalta la necesidad de fortalecer su conciencia ambiental.

Tabla 3. Resultados variables de gobernanza

Variable	Tópico	Boyacá	Cundinamarca
Tamaño de la tierra	G1	1–5 ha	
	G2	2,6 ha	1,6 ha
Tenencia de la tierra	G3	Propietarios (con constancia de posesión o con documentos que acreditan la herencia)	
	G4	41%	55%
Organización local	G5	56,2%	68,8%
	G6	11,3%	5%

El análisis del componente de gobernanza permitió identificar las fuertes similitudes en las dos regiones estudiadas en términos del tipo de tenencia de la tierra bajo la figura de propiedad privada, predominancia del minifundio y limitada capa-

cidad organizativa en la región. Estos aspectos deben moldear las propuestas de producción sostenible que se diseñen para la región y que se relacionan con que estas dos regiones concentran el 25% de la población del país.

Tabla 4. Resultados de la variable: Características del cultivo de tomate

Tópico	Subtópico	Boyacá	Cundinamarca
A7	Tipo Chonto <sup>1</sup>	90%	95%
	Tipo Larga vida <sup>2</sup>	10%	5%
	Procede de un vivero	92%	88,8%
A8	Fertiliza a partir de un análisis de suelo	56,9%	56,4%
	Desinfecta el suelo con productos químicos	83,9%	67,7%
	Aplica materia orgánica al suelo	16,1%	50%
	Aplica fertilizantes químicos	100%	100%
A9	<b>Problemas sanitarios más reportados</b>		
	Cogollero ( <i>Tuta absoluta</i> ) (53%)	Fusarium ( <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> ) (32%)	
	Mosca blanca ( <i>Trialeurodes vaporariorum</i> ) (52%)	Caracha ( <i>Prodiplosis longifila</i> ) (23%)	
	Botrytis ( <i>Botrytis cinerea</i> ) (31%)	Cogollero ( <i>Tuta absoluta</i> ) (21%)	
A10	Riego por goteo	100%	95,1%
	<b>Principal fuente de agua para riego</b>	Reservorios: 60,8% Nacimiento y quebradas: 39,2%	Reservorios: 35,4% Nacimientos y quebradas: 64,6%
A11	Producción promedio (t/ha/año)	51	32
	Certificación en buenas prácticas agrícolas	1,6%	0%
	Acuerdo de venta con el comprador <sup>3</sup>	72,6%	83,7%

<sup>1</sup> Tipo de tomate usado para la preparación de guisos.

<sup>2</sup> Tipo de tomate usado para la preparación de ensaladas.

<sup>3</sup> Convenios formales e informales entre el productor y el intermediario para la venta de la cosecha.

### 3.4 Actores y sistema productivo

Cinco puntos críticos: reducida adopción de tecnologías, materiales vegetales importados, limitada salud del suelo, uso excesivo de agroinsumos, y rezago normativo y de mercado con énfasis en inocuidad (Tabla 4).

Los entrevistados en Boyacá y Cundinamarca señalaron el cultivo de hortalizas y la ganadería como principales actividades económicas, destacando la relevancia del cultivo de tomate. En Boyacá, los productores tienen en promedio 49 años; el 37,1% de ellos completó los estudios primarios, mientras que el 19,4% no la terminó; y en promedio se dedica 0,89 ha de su unidad productiva al cultivo de tomate. En Cundinamarca, la edad promedio de los productores es de 47 años; el 47,5% de ellos completó la primaria y el 23% no la terminó; y se dedican 1,4 ha al tomate. Los hogares en ambas regiones están compuestos por 3 a 4 personas (Tabla 4).

Entre las principales problemáticas asociadas al cultivo de tomate, en Boyacá, se destacan los altos costos de infraestructura (cubierta y riego) y agroinsumos (56,2%), seguidos por el impacto de plagas y enfermedades (37,5%) y las dificultades en comercialización y acceso a mercados (37,5%). En Cundinamarca, se resalta el impacto de plagas y enfermedades (43,8%) y el inadecuado manejo de suelo y agua (43,8%).

De los cinco puntos críticos, el primero se relaciona con la limitada adopción de tecnología. Los productores enfrentan dificultades para acceder a información confiable y capacitaciones sobre tecnologías en agricultura protegida. Además, el apego a modelos de producción tradicionales genera resistencia al cambio, limitando mejoras y manteniendo la dependencia de tecnología obsoleta.

Cachipundo y cols. (2025) señalan, en el contexto ecuatoriano, que la baja tecnificación de los

sistemas agrícolas restringe el uso apropiado del agua. Esta limitación se asocia con infraestructura de baja eficiencia, escaso mantenimiento y ausencia de instrumentos de medición que permitan un control racional del recurso hídrico. Los autores destacan que la falta de innovación tecnológica, junto con la gestión comunitaria tradicional del riego, reduce la capacidad para adaptarse a las variaciones climáticas y compromete el mantenimiento de los cultivos a largo plazo.

Las características socioeconómicas como la edad y escolaridad influyen en la productividad de los cultivos. Cano y cols. (2016) indican que una mayor formación se asocia con una mayor productividad, mientras que el aumento de edad tiende a reducirla, posiblemente por la escasa adopción de innovaciones tecnológicas ofrecidas por asociaciones, gremios e instituciones científicas. En Colombia, diversas instituciones brindan conocimiento socialmente relevante, pero a menudo duplican esfuerzos y enfoques, generando visiones divergentes.

En términos de edad, no se observa integración ni relevo generacional. En Colombia, como en otros países latinoamericanos, la agricultura familiar está dominada por mano de obra masculina envejecida (70%). Esto se debe a la migración juvenil hacia las ciudades por falta de oportunidades en las zonas rurales, afectando la economía regional al reducir la mano de obra y disminuir la productividad de cultivos tradicionales (López y cols., 2018), lo que pone en riesgo la sostenibilidad del cultivo dentro de la estructura etaria familiar.

Este rezago también se refleja en los rendimientos de cultivo, en donde la producción promedio es de 51 t/ha año en Boyacá y 32 t/ha año en Cundinamarca. Con un rendimiento promedio de 46,6 t/ha año, Colombia ocupa el puesto 59 a nivel mundial, frente a rendimientos superiores a 300 t/ha año en Países Bajos, Bélgica, Suecia, Finlandia, Dinamarca, Irlanda y Reino Unido (FAOSTAT, 2023). Esto sugiere que existe una brecha tecnológica en Colombia, pero también representa una oportunidad para desarrollar o adaptar tecnologías que mejoren la producción en el país.

El segundo punto crítico de este componente se relaciona con que si bien Colombia es el centro de

origen del tomate (Délices y cols., 2019), los cultivos sembrados se han mejorado en Estados Unidos y Europa, cuyas casas son los proveedores de las semillas que se usan en el país. Sin embargo, la demanda de materiales más resistentes a problemas fitosanitarios como *Fusarium* ha llevado al uso de técnicas como la injertación en las plantuladoras, combinando portainjertos tolerantes e híbridos de alto rendimiento como Libertador y Roble, lo que a su vez ha aumentado el valor de las plántulas para los productores de tomate. La alta demanda de tomate fresco limita el uso de diversidad varietal, restringiendo la estrategia de producción sostenible en mercados locales con usos específicos (Ríos y cols., 2014).

El tercer punto crítico resalta los desafíos asociados a la salud del suelo:

- (i) **Pérdida de materia orgánica:** La falta de prácticas que favorezcan su retención y aumento, como el uso de cultivos de cobertura, limita la mejora del contenido de materia orgánica. Su promoción reduciría el riesgo de erosión y aumentaría la actividad microbiana. Sin embargo, esta práctica no se usa comúnmente, ya que los productores a menudo cambian el sitio de producción cuando la degradación del suelo afecta el rendimiento (Cuellas y cols., 2019).
- (ii) **Acidificación:** Este fenómeno afecta la disponibilidad de nutrientes, impactando la calidad y rendimiento de los cultivos. Las enmiendas calcáreas aplicadas de manera controlada pueden contrarrestar la acidificación y restablecer un pH óptimo (Dikinya y Mufwanzala, 2010).
- (iii) **Falta de rotación de cultivos:** La repetición continua de monocultivos de tomate agota nutrientes específicos, aumentando la vulnerabilidad a fitopatógenos e insectos plaga. Implementar un plan de rotación con especies complementarias puede restaurar la biodiversidad del suelo y reducir la presión sobre ciertos nutrientes (Díaz y cols., 2004).

El cuarto punto crítico es el uso de agroinsumos, el cual representa el 64% de los costos directos del cultivo. La dependencia de productos de síntesis química para el control de plagas y enfermedades refleja una necesidad constante de insumos externos para mantener la sanidad y productividad. El

uso frecuente de plaguicidas genera impactos ambientales y socioeconómicos (Valentín y cols., 2021) y el desbalance ambiental favorece a las plagas que ocupan el espacio de organismos benéficos, obligando a manejos más intensivos que comprometen la inocuidad del fruto (Caro y Cortés, 2020).

Una visión sostenible del cultivo debe adoptar el manejo integrado de plagas y enfermedades con enfoque preventivo, utilizando insumos organominerales, control biológico, trampas y alelopatías para reducir la dependencia de insumos químicos. Los estudios de residuos muestran una alta aplicación de insecticidas, como Clorpirifos, en concentraciones superiores a los LMR establecidos por la Unión Europea ( $> 0,1$  ppm) (Guerrero, 2003).

Patiño y cols. (2020) encontraron residuos de plaguicidas como Diflubenzuron y Metamidofos en concentraciones superiores a los LMR. Esto coincide con la percepción de los entrevistados, quienes reportan alta presión de plagas como mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*) caracha (*Prodiplosis longifila*) y cogollero (*Tuta absoluta*), cuyo manejo depende principalmente de aplicaciones periódicas de insecticidas químicos.

Estos elementos permiten introducir el quinto punto crítico de este componente, el limitado avance en el desarrollo y puesta en marcha de normas asociadas a la calidad de la fruta. En 2014, se promovió en el país la "Política Nacional Fitosanitaria y de Inocuidad" para implementar un "Plan Nacional de Residuos de Plaguicidas", pero solo en 2022 el ICA inició un monitoreo nacional de residuos, cuyos resultados aún no se han publicado (Instituto Colombiano Agropecuario, 2022).

Avanzar hacia una producción sostenible está ligado a la normatividad, precios y mercados (Codron y cols., 2014; Rodríguez-Robayo y cols., 2022). La normatividad aún está en construcción, y el principal mercado es la Central de Abastos de Bogotá, donde no se requieren certificaciones ni se inspecciona la inocuidad, y el impacto ambiental asociado al proceso productivo no es relevante. Esto explica por qué solo uno de los 124 productores entrevistados tiene certificación en buenas prácticas agrícolas, destacando la necesidad de mercados que valoren la producción sostenible.

El análisis del componente de actores y sistema productivo mostró importantes similitudes entre las dos regiones de estudio. Si bien Boyacá presenta una mayor innovación tecnológica en comparación con Cundinamarca, existe un claro rezago tecnológico en las dos regiones. Los demás tópicos mostraron tanto en Boyacá como en Cundinamarca la urgencia de abordar el cuidado de la salud del suelo, promover el monitoreo del cultivo y otras prácticas para evitar las aplicaciones de agroquímicos por calendario. Así mismo, se evidenció la importancia de reflexionar sobre los problemas de inocuidad del tomate en ambas zonas geográficas, en términos de que exista un incentivo para producir bajo esquemas de producción no convencionales.

### 3.5 Interacciones

Tres puntos críticos: la infraestructura de los invernaderos y su manejo que generan importantes residuos, e impactan el paisaje, así como los avances en el uso de prácticas orientadas a la sostenibilidad (Tabla 5).

A pesar de las innovaciones en agricultura protegida, la tradición y falta de inversión limitan la adopción de mejoras tecnológicas que aumenten la eficiencia y productividad. Además, el modelo de comercialización del tomate no proporciona el retorno necesario para justificar la inversión tecnológica en el sistema productivo.

Existe una notable disparidad en la tecnificación en los núcleos de Boyacá y Cundinamarca. Los agricultores en Cundinamarca dependen de métodos más tradicionales y menos tecnificados, basados en conocimiento empírico. Esto se debe a la falta de acceso a tecnologías avanzadas y la insuficiente capacitación en prácticas de invernadero. En contraste, Boyacá ha mostrado un mayor nivel de tecnificación, especialmente en sistemas de fertirrigación (Villagran y Bojacá, 2021).

Esto puede deberse a la mejor infraestructura y al fácil acceso a las fincas e invernaderos. Por su parte, en Cundinamarca, el estado de las carreteras dificulta el acceso a los predios, problema que incrementa por la topografía y el clima (Villagran y Bojacá, 2021).

Tabla 5. Resultados variables de interacciones

Variable	Tópico	Boyacá	Cundinamarca
Problemáticas ambientales	I1	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Impacto general de las actividades agropecuarias (50%)</li> <li>– Elevado uso de agroquímicos (37,5%)</li> <li>– Contaminación de fuentes hídricas (37,5%)</li> <li>– Aumento de invernaderos y mal manejo de residuos (31,2%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Impacto general de las actividades agropecuarias (50%)</li> <li>– Elevado uso de agroquímicos (37,5%)</li> </ul>
	I2	71 %	21 %
	I3	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Elevado uso de plástico (30,6%)</li> <li>– Deslizamiento y erosión del suelo (21%)</li> <li>– Elevado uso de agroquímicos (19,4%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Elevado uso de agroquímicos (14,5%)</li> <li>– Deslizamiento y erosión del suelo (9,7%)</li> </ul>
Problemáticas sociales	I4	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Migración de jóvenes y falta de mano de obra (56,2%)</li> <li>– Llegada de migrantes extranjeros (31,2%)</li> <li>– Inseguridad, hurto y extorsión (31,2%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Migración de jóvenes y falta de mano de obra (37,5%)</li> </ul>
	I5	79%	90%
Prácticas orientadas a la sostenibilidad	I6	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Incorporación de humus líquido al suelo (32,3%)</li> <li>– Rotación de cultivos (52,2%)</li> <li>– Preparado de ajo-ají como bioplaguicida (31,3%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Incorporación de humus líquido al suelo (77,4%)</li> <li>– Microorganismos comerciales (24,2%)</li> <li>– Rotación de cultivos (89,3%)</li> <li>– Preparado de ajo-ají como bioplaguicida (41,4%)</li> </ul>

En ambos núcleos se usan cubiertas adaptadas de la producción de flores desde la década de 1970. Aunque estas cubiertas han aumentado la producción de tomate, persisten desafíos para optimizar el desarrollo del cultivo (Villagran y cols., 2021). Uno de los principales retos es la implementación de estructuras adaptadas a las condiciones climáticas locales, con mayor control microclimático y mejor ajuste a las demandas ecofisiológicas del cultivo, lo que mejoraría la eficiencia en el uso de recursos (Rocha y cols., 2021).

Sin embargo, el uso de invernaderos genera residuos al final de la vida útil de los materiales. La principal problemática ambiental del cultivo de tomate bajo invernadero es la generación de residuos sólidos, como cubiertas, madera, bolsas, empaques y frascos de plaguicidas, así como residuos orgánicos.

Las pérdidas de tomate durante la producción, transporte, almacenamiento y consumo generan residuos significativos. Según Martínez y Quintero (2017), el desperdicio de verduras en la poscosecha

en Colombia es del 7%. De las 162.876 t de tomate producidas en 2022 en los municipios de Boyacá y Cundinamarca (Agronet, 2023), se estima que se perdieron 11.401 t.

Por otra parte, el servicio ecosistémico relacionado con la belleza paisajística no fue ampliamente reconocido; el cultivo de tomate bajo cubierta altera el paisaje y genera una disrupción en la matriz ecológica. Esto es notable en Boyacá, especialmente en Villa de Leyva, una zona turística mundialmente reconocida por sus paisajes de desierto, páramo, lagunas y valles (Ramos y cols., 2022). Las cubiertas de los invernaderos han modificado el paisaje, afectando el turismo, que ha señalado la alta visibilidad de los invernaderos y su impacto (Figura 4).

Este impacto se destaca en menor medida en Cundinamarca, posiblemente debido a que es una región menos turística en comparación con Boyacá, la dispersión de los invernaderos y la topografía quebrada de la región.



**Figura 4.** Cambio en el paisaje por la presencia de invernaderos para la producción de tomate, Sutamarchán, Boyacá. Fotografía: Diego Fernando Sánchez Vivas.

A nivel identitario, el paisaje de ambas zonas se percibe como un factor incidente, unificador y característico que moldea la idiosincrasia de la población, y el paisaje se valora como una ventaja competitiva de los destinos basados en la naturaleza, tal como señalan Clark y cols. (2026), donde el ambiente natural es un factor demandante para las empresas que deben operar dentro de umbrales sostenibles. Al respecto, Olwig (2002) resalta que el paisaje natural emerge a un paisaje cultural, en el que las características geográficas y ecológicas se integran con las modificaciones humanas que incluyen construcciones y usos del suelo (Cosgrove, 2008); sin embargo, en la zona de estudio, se han generado tensiones asociadas a la disrupción de la matriz paisajística, lo que promueve la lucha por la conservación de los símbolos naturales del paisaje y motiva el interés de los productores por transitar hacia la sostenibilidad.

En el cultivo de tomate se identifica la adopción de prácticas agroecológicas (Wezel y cols., 2009)

promovidas bajo modelos de agricultura tropical (C. Jaramillo, 2019). La propuesta regional busca reemplazar insumos químicos por fuentes orgánominerales y biológicas. Sin embargo, los productores de tomate siguen prefiriendo el control químico para el manejo de problemas fitosanitarios, a pesar de las experiencias prometedoras de quienes utilizan biopreparados, los cuales reportan efectos positivos y una reducción en los costos de manejo.

Según Tiftonell (2019), las transiciones agroecológicas son multiescalares y multidimensionales, y en el cultivo de tomate aún son incipientes. Los factores exógenos, como el aumento de precios de agroinsumos químicos postpandemia y la influencia de actores ambientales, han impulsado la conciencia colectiva sobre los riesgos de plaguicidas sintéticos y promovido prácticas agroecológicas (Torres-Carral, 2021).

Finalmente, otro factor dinamizador es el reconocimiento de experiencias positivas en manejo

alternativo. Estudios sobre fuentes de materia orgánica, bioproductos a base de microorganismos y manejo agroecológico del tomate en invernadero muestran resultados alentadores, apoyando la transición hacia modelos de producción sostenible.

El análisis del componente de interacciones evidenció un mayor impacto del cultivo de tomate en Boyacá en comparación con Cundinamarca, atribuible principalmente a la trayectoria productiva de cada región. En Boyacá, el cultivo de tomate cuenta con aproximadamente 25 años de desarrollo, mientras que en Cundinamarca se ha reportado una implementación del sistema desde hace unos 17 años. No obstante, los avances en la adopción de prácticas sostenibles en ambas regiones son limitados y se han enfocado principalmente en el uso de bioproductos o biopreparados, impulsado en gran medida por el incremento en los precios de los agroquímicos.

## 4 Conclusiones

A partir de las 13 variables y 33 tópicos utilizados en el análisis socioecológico del cultivo de tomate bajo cubierta en los departamentos de Boyacá y Cundinamarca se identificaron 14 puntos críticos que afectan el proceso de producción. De esta forma, se amplía el uso del marco de sistemas socioecológicos a la producción sostenible, trascendiendo su uso en el análisis de las acciones de conservación en el manejo de los recursos naturales.

Las dos regiones productoras de tomate analizadas presentan múltiples similitudes en aspectos sociales y en las prácticas de manejo del cultivo. Sin embargo, las diferencias geográficas e históricas son determinantes en los contrastes observados en cuanto a los componentes del sistema y unidades de recurso y las interacciones. Boyacá, al tratarse de una región con condiciones más secas y con una trayectoria más prolongada en la producción de tomate, ha experimentado una mayor incorporación de innovaciones tecnológicas a lo largo del tiempo. No obstante, esta intensificación ha generado un impacto más evidente sobre el paisaje y los recursos naturales disponibles.

De manera generalizada para las dos regiones estudiadas, el componente de sistema y unidades

de recursos hizo evidente la ausencia o desconocimiento de zonas de conservación local. En el componente de gobernanza predominó la tenencia de la tierra bajo propiedad privada en minifundio, con un amplio desinterés entre los productores por consolidar y participar en organizaciones locales. El componente de actores y sistema productivo reflejó que los cultivos de tomate se desarrollan bajo un uso excesivo de agroinsumos de síntesis química, pérdida de materia orgánica, monocultivos permanentes y acidificación que derivan en una limitada salud del suelo. Por último, el componente de interacciones reflejó una adopción limitada de prácticas sostenibles en el cultivo de tomate, junto con una elevada generación de residuos y un cambio abrupto del paisaje por el aumento de las cubiertas sobre los territorios.

Estos hallazgos sugieren la necesidad de enfocar esfuerzos en: a) fortalecer acciones locales y regionales a favor de la conservación para que en Cundinamarca el recurso hídrico permanezca y en Boyacá no se agote; b) fomentar la conciencia ambiental y el capital social en las familias campesinas productoras de tomate; c) diseñar e implementar tecnologías que promuevan la producción sostenible, protegiendo los recursos esenciales como el suelo y el agua, garantizando un menor impacto sobre el ambiente y una mayor inocuidad en los productos; d) promover el uso de materiales locales en infraestructura, siembra y manejo del cultivo, para reducir la dependencia de insumos externos; e) identificar y desarrollar mercados que valoren la producción sostenible, ya que actualmente no se reconoce plenamente el valor de una producción diferenciada.

Se recomienda que las futuras investigaciones que empleen el marco de sistemas socioecológicos para abordar el análisis de la producción sostenible profundicen bajo un enfoque participativo en la comprensión de los bucles de retroalimentación que permiten determinar las principales barreras para transitar hacia la sostenibilidad, favoreciendo así la definición de estrategias conjuntas entre actores locales, regionales y nacionales que permitan avanzar en la consolidación de territorios sostenibles y resilientes. Así mismo, se recomienda ahondar en los servicios ecosistémicos culturales, en los que además del paisaje se puedan rescatar elementos de sentido de pertenencia, identidad, conexión con la naturaleza, entre otros.

## Agradecimientos

Al proyecto “Aporte de prácticas con enfoque de Agricultura Tropical a la sostenibilidad de los sistemas productivos de aguacate en Tolima y Huila, pasifloras en Boyacá y Meta, y tomate bajo cubierta en Cundinamarca y Boyacá” desarrollado en alianza Asohofrucol y Agrosavia en el marco del convenio 2129 de 2022. Al equipo de Asohofrucol que orientó y acompañó la recolección de información en campo.

## Contribución de los autores

**K.J.R.R.:** Conceptualización, análisis formal, investigación, metodología, supervisión, escritura – borrador original, escritura – revisión y edición. **V.C.P.B.:** Análisis formal, escritura – borrador original, escritura – revisión y edición. **C.A.M.V.:** Análisis formal, escritura – borrador original, escritura – revisión y edición. **D.A.R.R.:** Análisis formal, escritura – borrador original, escritura – revisión y edición. **E.M.E.M.:** Análisis formal, escritura – borrador original, escritura – revisión y edición. **M.C.R.:** Análisis formal, escritura – borrador original, escritura – revisión y edición. **A.P.V.N.:** Análisis formal, escritura – borrador original, escritura – revisión y edición. **Y.R.B.:** Curación de datos, análisis formal, metodología, escritura – borrador original.

## Referencias

- Agronet. (2023). *Base agrícola EVA de 2019 a 2022*. Online: <https://n9.cl/3p5a2>
- Agronet. (2024). *Reporte: Área, producción y rendimiento nacional por cultivo*. Online: <https://n9.cl/dhvg>
- Alzate, D. (2020). Concentración de la tierra y las zonas de interés de desarrollo rural, económico y social (Zidres) en los montes de maría, maría la baja y carmen de bolívar. *Prolegómenos*, 23(46), 51–70. Online: <https://doi.org/10.18359/prole.4309.x>
- Asan, Z., y Greenacre, M. (2008). Measures of fit in multiple correspondence analysis of crisp and fuzzy coded data. Online: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1107815>
- Benton, T., Bieg, C., Harwatt, H., Pudassaini, R., y Wellesley, L. (2021). *Food system impacts on biodiversity loss: Three levers for food system transformation in support of nature*. London, UK: Chatham House. Online: <https://n9.cl/mw42do>
- Berdegue, J. A., y Escobar, G. (2004). *Tecnología y pobreza: opciones para FONTAGRO* (Inf. Téc. n.º A50/6609). Washington, USA: Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria. Online: <https://n9.cl/hqny>
- Buitrago, P. (2022). *Pérdida de bosque alto andino por procesos de paramización y cambio climático en ecosistemas de alta montaña*. Online: <https://n9.cl/izq4q>
- Cachipiendo, C., Ilbay, M., y Requelme, N. (2025). Gestión comunitaria y sostenibilidad en sistemas de riego andinos mediante indicadores de uso eficiente del agua en la agricultura. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*, 42(2), 41–60. Online: <https://doi.org/10.17163/lgr.n42.2025.03>
- Cano, S., Iregui, B., Ramírez, G., y Tribín, U. (2016). *El desarrollo equitativo, competitivo y sostenible del sector agropecuario en Colombia*. Banco de la República. Online: <https://n9.cl/105td>
- Caro, L., y Cortés, P. (2020). *Estado del arte de los efectos de plaguicidas de uso agrícola para la salud y el ambiente en Colombia (2007-2019)* (Inf. Téc.). Online: <https://n9.cl/0dzrf>
- Clark, C. D., Matarrita-Cascante, D., Tkatch, J. R. V., y Fariha, M. S. (2026). Examining the competitive advantage of nature-based destinations: Applying a holistic resource-based theory framework. *Tourism Management*, 112, 105281. Online: <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2025.105281>
- Codron, J. M., Adanacioğlu, H., Aubert, M., Bouhsina, Z., El Mekki, A., Rousset, S., ... Yercan, M. (2014). The role of market forces and food safety institutions in the adoption of sustainable farming practices: The case of the fresh tomato export sector in Morocco and Turkey. *Food Policy*, 49(1), 268–280. Online: <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2014.09.006>
- Conagua. (2013). *Guía de identificación de actores clave. serie: Planeación hidráulica en México* (Inf. Téc.). Ciudad de México: Semarnat. Online: <https://n9.cl/hyudia>

- Congreso de Colombia. (1993). *Ley 101 de 1993. ley general de desarrollo agropecuario y pesquero*. Online: <https://n9.cl/nmiwe> (Colombia)
- Consejo Privado de Competitividad, y SCORE-Universidad del Rosario. (2023). *Índice departamental de competitividad 2023* (Inf. Téc.). Punto Aparte editores. Online: <https://n9.cl/vm0a90>
- Cosgrove, D. (2008). *Geography and vision: Seeing, imagining and representing the world*. London & New York: I.B. Tauris. Online: <https://n9.cl/l2vz>
- Cuellas, M., Amoia, P., y Delmazzo, P. (2019). Efecto de diferentes tratamientos de desinfección del suelo sobre las propiedades edáficas. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 35(1), 26–37. Online: <https://doi.org/10.4067/S0719-38902019005000103>
- Departamento Nacional de Planeación. (2023). *Terridata*. DNP. Online: <https://n9.cl/6ghncx>
- Dikinya, O., y Mufwanzala, M. (2010). Chicken manure-enhanced soil fertility and productivity: Effects of application rates. *Journal of Soil Science and Environmental Management*, 1(3), 46–54. Online: <https://n9.cl/hmstw6>
- Délices, G., Ovalle, O., Mota-Vargas, C., Pastrana, R., Pastrana, R., Meza, P., y Serna-Lagunes, R. (2019). Biogeography of tomato *solanum lycopersicum* var. cerasiform (solanaceae) in its center of origin (south america) and domestication (mexico). *Revista de Biología Tropical*, 67(4), 1023–1036. Online: <https://doi.org/10.15517/rbt.v67i4.33754>
- Díaz, G., Hernández, T., y Cabello, R. (2004). Re-seña bibliográfica de la rotación de cultivos, un camino a la sostenibilidad de la producción arrocerá. *Cultivos Tropicales*, 25(3), 19–44. Online: <https://n9.cl/p8yh>
- Díaz-Pinzón, L., Sierra, L., Trillas, F., y Verd, J. (2024). The social-ecological system framework of urban wetlands: The role of collective management at local level. *International Journal of the Commons*, 18(1), 649–669. Online: <https://doi.org/10.5334/ijc.1399>
- Escobedo, A. (2018). *Cadena de valor de café de guatemala* (Inf. Téc.). CATIE. Online: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.32152.65282>
- FAOSTAT. (2023). *Crops and livestock products*. FAO. Online: <https://n9.cl/7wq46>
- Food and Agricultural Organization. (2021). *Experiencias de transición agroecológica en colombia* (Inf. Téc.). Bogotá: Sembrando Capacidades (Cooperación Brasil-Colombia-FAO). Online: <https://n9.cl/8yhif>
- Gamboa, C., Bojacá, C., Schrevens, E., y Martens, M. (2020). Sustainability of smallholder quinoa production in the peruvian andes. *Journal of Cleaner Production*, 264, 121657. Online: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121657>
- Gomez-Jaramillo, Y., Berrouet, L., Villegas-Palacio, C., y Berrio-Giraldo, L. (2024). Navigating water security: A sustainability evaluation in basin socio-ecological systems. the grande river basin case study, antioquia-colombia. *Science of The Total Environment*, 959(10), 178354. Online: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.178354>
- Guerrero, J. (2003). Estudio de residuos de plaguicidas en frutas y hortalizas en áreas específicas de colombia. *Agronomía Colombiana*, 21, 198–209. Online: <https://n9.cl/pix9x>
- Hanf, F., Ament, F., Boettcher, M., Burgemeister, F., Gaslikova, L., Hoffmann, P., ... Wicke, M. (2025). Towards a socio-ecological system understanding of urban flood risk and barriers to climate change adaptation using causal loop diagrams. *International Journal of Urban Sustainable Development*, 17(1), 69–102. Online: <https://doi.org/10.1080/19463138.2025.2474399>
- Herrera-Masó, J., Calero, J., González, M., Collazo, M., y Travieso, Y. (2022). El método de consulta a expertos en tres niveles de validación. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 21(1), e4711. Online: <https://n9.cl/pc81f>
- Hinkel, J., Cox, M., Schulter, M., Binder, C., y Falk, T. (2015). A diagnostic procedure for applying the social-ecological systems framework in diverse cases. *Ecology and Society*, 20(1), 32. Online: <https://doi.org/10.5751/ES-07023-200132>
- Instituto Colombiano Agropecuario. (2022). *Plan de monitoreo de residuos de plaguicidas químicos en especies vegetales en colombia*. Online: <https://n9.cl/f23dt> (ICA)

- Jaramillo, C. (2019). *Programa de formación continua especializada: Producción agroecológica de frutas y hortalizas* (Inf. Téc.). Corpocyt, Ed. and Asohfrucol. Online: <https://n9.cl/2eokr>
- Jaramillo, J., Sánchez-León, G., Rodríguez, V., Aguilar, P., Gil, L., Hío, J., ... Guzmán-Arroyave, M. (2012). *Tecnología para el cultivo de tomate bajo condiciones protegidas*. Bogotá: Corpoica. Online: <https://n9.cl/uqj1n>
- Johnson, R., y Wichern, D. (2002). *Applied multivariate statistical analysis* (6th ed.). Pearson Modern Classics. Online: <https://n9.cl/6hnmk>
- López, E., Martínez, L., Martínez-Cañas, C., y Vargas-Prieto, A. (2018). Desarrollo rural y envejecimiento: caso de estudio municipio de chinavita, boyacá, colombia. *Revista investigación y desarrollo e innovación*, 8(2), 193–206. Online: <https://doi.org/10.19053/20278306.v8.n2.2018.7959>
- López-Gómez, E. (2018). El método delphi en la investigación actual en educación: una revisión teórica y metodológica. *Educación XX1*, 21(1), 17–40. Online: <https://doi.org/10.5944/educXX1.15536>
- MADS, y MCIT. (2019). *Estrategia nacional de economía circular. cierre de ciclos de materiales, innovación tecnológica, colaboración y nuevos modelos de negocio* (Inf. Téc.). Bogotá D.C., Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible and Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. Online: <https://n9.cl/jx6lxm>
- Martínez, M., y Quintero, J. (2017). Estado actual de los desperdicios de frutas y verduras en Colombia. En *Memorias 4to congreso internacional amitic* (Vol. 1, pp. 194–201). Portal de Revistas Académicas Universidad Tecnológica de Panamá UTP. Online: <https://n9.cl/dbzmi3>
- MAVDT. (2010). *Política nacional de producción y consumo sostenible* (Inf. Téc.). Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Online: <https://n9.cl/oo2if>
- McGinnis, M., y Ostrom, E. (2014). Social-ecological system framework: Initial changes and continuing challenges. *Ecology and Society*, 19(2), 1–30. Online: <https://doi.org/10.5751/ES-06387-190230>
- Nagel, B., y Partelow, S. (2022). A methodological guide for applying the social-ecological system (SES) framework: a review of quantitative approaches. *Ecology and Society*, 27(4), 1–39. Online: <https://doi.org/10.5751/ES-13493-270439>
- Olwig, K. (2002). *Landscape, nature and the body politic: From britain's renaissance to america's new world*. Madison, WI: University of Wisconsin Press. Online: <https://doi.org/10.1080/00291950310003043>
- Ostrom, E. (2009). A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Science*, 325(5939), 419–422. Online: <https://doi.org/10.1126/science.1172133>
- Patiño, M., Valencia-Guerrero, M., Barbosa-Ángel, E., Martínez-Cordón, M., y Donado-Godoy, P. (2020). Evaluation of chemical and microbiological contaminants in fresh fruits and vegetables from peasant markets in cundinamarca, Colombia. *Journal of Food Protection*, 83, 1726–1737. Online: <https://doi.org/10.4315/0362-028X/JFP-19-453>
- Preiser, R., Biggs, R., De Vos, A., y Folke, C. (2018). Social-ecological systems as complex adaptive systems: organizing principles for advancing research methods and approaches. *Ecology and Society*, 23(4), 46. Online: <https://doi.org/10.5751/ES-10558-230446>
- Pérez, M. (2020). Retos de la política ambiental colombiana frente a los desafíos de la OCDE y ODS. *Análisis político*, 33(99). Online: <https://doi.org/10.15446/anpol.v33n99.90970> (Mayo-Agosto)
- Pérez-Vázquez, A., Leyva, D., y Gómez, F. (2018). Desafíos y propuestas para lograr la seguridad alimentaria hacia el año 2050. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(1), 175–189. Online: <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i1.857>
- Quiroga, S., Suárez, C., Hernanz, V., Aguiño, J., y Fernández-Manjarrés, J. (2024). Analysing post-conflict policies to enhance socio-ecological restoration among black communities in southern Colombia: Cacao cropping as a win-win strategy. *Forest Policy and Economics*, 163, 103198. Online: <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2024.103198>
- Ramos, A., Alvarado, A., Montenegro, L., y Sandoval, A. (2022). Oportunidades de conservación

- del paisaje rural andino en el suroccidente de tunja, boyacá (colombia). *Revista Mutis*, 12(2). Online: <https://doi.org/10.21789/22561498.1823>
- Rocha, G., Pichimata, M., y Villagran, E. (2021). Research on the microclimate of protected agriculture structures using numerical simulation tools: a technical and bibliometric analysis as a contribution to the sustainability of under-cover cropping in tropical and subtropical countries. *Sustainability*, 13(18), 10433. Online: <https://doi.org/10.3390/SU131810433>
- Rodríguez-Gonzalez, P., Rico-Martinez, R., y Rico-Ramirez, V. (2020). Effect of feedback loops on the sustainability and resilience of human-ecosystems. *Ecological Modelling*, 426. Online: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2020.109018>
- Rodríguez, T., Reu, B., Bolívar-Santamaría, S., Cortés-Aguilar, A., y Buendía, C. (2023). A framework for participatory scenario planning to guide transitions towards sustainability in mountain social-ecological systems: A case study from the colombian andes. *Land Use Policy*, 132, 106817. Online: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2023.106817>
- Rodríguez-Robayo, K., Pulido-Blanco, V., Rojas-Ramírez, D., y Martínez-Camelo, F. (2022). Buenas prácticas agrícolas y sostenibilidad del cultivo de cebolla de rama (*Allium fistulosum* L.) en la cuenca del lago de tota (boyacá, colombia). *Revista Agroalimentaria*, 28(2407-2022-909), 139–169. Online: <https://n9.cl/ivo4q>
- Ríos, O., Chávez, J., y Carrillo, J. (2014). Producción tradicional y diversidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) nativo: un estudio de caso en tehuantepec-juchitán, méxico. *Agricultura Sociedad y Desarrollo*, 11(1), 35–5. Online: <https://n9.cl/pgdegn>
- Tittonell, P. (2019). Las transiciones agroecológicas: múltiples escalas, niveles y desafíos. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Cuyo*, 51(1), 231–246. Online: <https://n9.cl/p49jpl>
- Torres-Carral, G. (2021). Acerca del concepto de socioecosistema. un análisis eco-social. *Textual*, 77, 89–114. Online: <https://doi.org/10.5154/r.textual.2021.77.03>
- Valentín, A., Guerrero, A., y Condori, L. (2021). Identificación de residuos de contaminantes químicos en tomate para determinar su grado de toxicidad. *Journal Boliviano de Ciencias*, 17(Especial), 38–52. Online: <https://doi.org/10.52428/20758944.v17iespecial.5>
- Vargas-Hernández, J. (2013). La teoría de recursos y capacidades y el emprendimiento: caso de una microempresa agropecuaria rural. *Voxpopuli*(12), 81–88. Online: <https://n9.cl/qyan5>
- Villagran, E., y Bojacá, C. (2021). Three-dimensional numerical simulation of the thermal and aerodynamic behavior of a roof structure built on a slope and used for horticultural production. *Comunicata Scientiae*, 12, e3593. Online: <https://n9.cl/ayxkgs>
- Villagran, E., Bojacá, C., y Akrami, M. (2021). Contribution to the sustainability of agricultural production in greenhouses built on slope soils: A numerical study of the microclimatic behavior of a typical colombian structure. *Sustainability*, 13(9), 4748. Online: <https://doi.org/10.3390/su13094748>
- Wezel, A., Bellon, S., Doré, T., Francis, C., Vallod, D., y David, C. (2009). Agroecology as a science, a movement and a practice. a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 29(4), 503–515. Online: <https://doi.org/10.1051/agro/2009004>