

**Comparación del manejo fitosanitario de sistemas de producción convencional y orgánica de hortalizas en la zona Altiplano-Oriente de Antioquia (Colombia)**  
**Comparison of the phytosanitary management of conventional and organic vegetable production systems in the Altiplano-Oriente zone of Antioquia (Colombia)**

Artículo de  
Investigación

Juan Carlos Salazar-Hernández<sup>1</sup>, Fernando Restrepo-Betancur<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural de Antioquia, Medellín.

<sup>2</sup>Universidad de Antioquia, Medellín.

\* Autor correspondiente: juan.salazar@antioquia.gov.co

**Resumen:** La zona de producción de hortalizas en el Altiplano de la subregión oriental del departamento de Antioquia, ha sido ampliamente influida por los denominados paquetes tecnológicos de manejo fitosanitario a través de cuadros técnicos contratados por prestación de servicios y comisión por ventas para realizar asistencia técnica, con la capacidad para llegar a todas las fincas sin distinción, allí donde las oficinas municipales de prestación del servicio, están ausentes y no están debidamente preparadas para ofrecer alternativas de manejo. Al evaluar las características, estructura y manejo de los agroecosistemas convencionales y orgánicos en estudio, entre ellos, la influencia del manejo de la nutrición de cultivos y las prácticas fitosanitarias acostumbradas en cada uno de ellos sobre la prevalencia e incidencia de enfermedades, se encontró que solo el nematodo fitopatógeno *Meloidogyne* sp., tuvo una incidencia significativa en el desarrollo del apio en los sistemas orgánicos, mientras que el análisis de varianza multivariada, que evaluó todos los tipos de enfermedad simultáneamente en los arreglos de cultivos, no mostró diferencias ( $p > 0,05$ ) en la incidencia o afectación entre los dos sistemas, demostrando las ventajas del sistema orgánico frente al convencional, sin tener que recurrir a aplicaciones de pesticidas y además, evita la presencia de residuos en las cosechas.

**Palabras clave:** *Agroecología, Incidencia, Prevalencia, Sistemas, Hortalizas.*

**Abstract:** The vegetable production area in the Altiplano of the eastern subregion of the department of Antioquia, has been widely influenced by the so-called technological packages of phytosanitary management through technical teams hired for the provision of services and commission for sales to carry out technical assistance, with the ability to reach all farms without distinction, where the municipal offices that provide the service are absent and are not properly prepared to offer management alternatives. When evaluating the characteristics, structure and management of the conventional and organic agroecosystems under study, among them, the influence of crop nutrition management and customary phytosanitary practices in each of them on the prevalence and incidence of diseases, it was found that only the phytopathogenic nematode *Meloidogyne* sp. had a significant incidence in the development of celery in organic systems, while the multivariate analysis of variance, which evaluated all types of disease simultaneously in the crop arrangements, did not show differences ( $p > 0.05$ ) in the incidence or affectation between the two systems, demonstrating the advantages of the organic system compared to the conventional one, without having to resort to pesticide applications and also, it avoids the presence of residues in the crops.

**Keywords:** *Agroecology, Incidence, Prevalence, Systems, Vegetables.*

**Recibido:** 29/06/2023 **Aceptado:** 15/07/2023 **Publicado:** 29/07/2023

## Introducción

El cinturón productivo de sistemas de hortalizas localizado en la zona Altiplano de la región oriental del departamento de Antioquia (Colombia), con rangos de precipitación entre 2500 y 3500 mm anuales y temperatura media entre 12 y 17°C, con suelos con predominio de baja saturación de bases e incrementos en la acidez, se caracteriza por la constante aplicación, en cada ciclo productivo de los diferentes cultivos, por variedad de tipos de plaguicidas sintéticos como métodos acostumbrados de manejo de problemas fitosanitarios, lo que implica un alto consumo de insumos, agua y energía.

Los materiales de hortalizas empleados corresponden a variedades importadas que son las recomendadas por los servicios de investigación regional y los distribuidores de las casas de agroquímicos. Sobresale el énfasis en uso de pesticidas desde las etapas iniciales de las hortalizas en viveros hasta la producción en campo y en especial para control de enfermedades, trayectoria seguida con la investigación llevada a

cabo entre los años 2013 a 2016, al compararlos con sistemas de producción que practican una agricultura orgánica, que no utilizan estos insumos.

Un gran grueso de los horticultores ha asumido, sin considerar otros riesgos, que, al no usar plaguicidas, la producción y los ingresos serían muy bajos. El cambio de perspectiva señalado desde la investigación, apuntó entonces a considerar el sistema de producción de hortalizas más allá del subsistema de enfermedades como simple determinante de las decisiones de intervención fitosanitaria, hacia el análisis conjunto de las interacciones entre los diferentes subsistemas: suelo-cultivos-patógenos-manejo conjunto de decisiones, que realmente explican el estado de salud general del sistema y su capacidad de respuesta frente a las diferentes afectaciones.

En este sentido el objetivo de la presente investigación fue evaluar la prevalencia e incidencia de enfermedades en sistemas productivos de hortalizas con pequeños agricultores, explicado a través de los elementos críticos del manejo de dichos sistemas,

interacciones suelo-cultivos-patógenos-decisiones de manejo, para estimar el enfoque que determina condiciones saludables y la producción sostenible de hortalizas.

## Materiales y Métodos

### Localización y caracterización del área

El estudio se llevó a cabo en la denominada región del cinturón hortícola del altiplano andino del oriente antioqueño, en Colombia, dominada por saprolitos resultantes de la descomposición de rocas ígneas y metamórficas con diferentes clases de depósitos detríticos, lacustres y aluviales. Lechos de ceniza volcánica cubren la totalidad de las unidades descritas [1]. Destacan altiplanicies de granodioritas y aluviones incluidos, bañadas por la cuenca del río Negro [2], con predominio de drenaje de suelos de pobre a bueno y con fertilidad baja a moderada [3]. Son suelos considerados distróficos por saturación de bases y fósforo bajos y por su actividad biológica retrasada [3].

**Instalación del ensayo:** a partir de la constitución de la Red Productiva de Hortalizas de Antioquia, en el año 2012, 19 agricultores representativos de la zona de estudio, permitieron subdividirlos en dos grupos de acuerdo a su sistema de trabajo, 9 de ellos destacados por agroecosistemas de producción orgánica (ORG), que iniciaban proceso para lograr la certificación de sello ecológico en cuatro años 2013 – 2016 y 10 de ellos destacados por agroecosistemas de producción convencional (CONV). Durante dos periodos de producción de hortalizas años 2013 y 2015, se realizaron muestreos de suelos en cada una de las fincas para análisis completos de fertilidad de suelos llevados a cabo en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Colombia (sede Medellín) para conocer la influencia específica del manejo de la nutrición de cultivos.

**Tabla 1.** Parámetros definidos para análisis físico-químico de fertilidad de suelos y materia orgánica

| Parámetros     | Métodos de extracción    | Unidades | Determinación analítica    |
|----------------|--------------------------|----------|----------------------------|
| P              | Bray II                  | mg/Kg    | Espectrofotometría visible |
| Ca, Mg, K y Na | Acetato amonio 1M        | cmolc/Kg | Absorción atómica          |
| Al             | KCl 1M                   | cmolc/Kg | Titulación                 |
| S              | Fosfato de calcio 0,008M | mg/Kg    | Turbidimetría              |

|                       |                     |       |   |
|-----------------------|---------------------|-------|---|
| Fe, Mn, Cu y Zn       | OLSEN modificado    | mg/Kg | Absorción atómica   |
| B                     | Agua caliente       | mg/Kg | Espectrofotometría visible                                      |
| Materia orgánica M.O. | Walkley-Black       | %     | Oxidación con dicromato de potasio en medio de ácido sulfúrico. |
| pH                    | En agua (1:2)       | -     | pH-metro  |
| Textura               | Bouyucos-hidrómetro | -     | Densimetría   |

**Fuente:** Osorio [4].

Adicionalmente, en el año 2015, ambos sistemas de producción de hortalizas (ORG y CONV) fueron evaluados en su estructura y manejo de los subsistemas y componentes esenciales, mediante encuestas con visitas de recorrido en finca, a partir del diseño de un estudio de línea base constituido por 79 enunciados descriptivos, entre factores socioeconómicos, tecnológicos y socio-empresariales. Para ello se aplicó el enfoque integrado de sistemas según Sarandon & Florez [5] para comprender las variables clave en los resultados de las encuestas, que dieron cuenta del estado de salud de los agroecosistemas.

Complementariamente, en el 2016, los agricultores participaron en cuatro talleres de análisis, dos por cada grupo separado, para evaluar la multidimensionalidad de la sostenibilidad de sus sistemas de producción, a partir de las premisas, convicciones, percepciones y decisiones de vida del agricultor, adaptando métodos del enfoque MESMIS [6], y medición de índices de Sarandón & Flores [7]. A través de estos procesos, surgieron los factores críticos del desempeño de los agroecosistemas.

Seis fincas, tres por cada sistema productivo, fueron seleccionadas para evaluarlas semanalmente, en un periodo de 8 meses contando desde la recepción de plántulas, en cuanto a la prevalencia e incidencia de enfermedades en variedades de lechuga (*Lactuca sativa*), brócoli (*Brassica oleracea* var. *Italica*) y apio (*Apium graveolens*), por su mayor representatividad de área y mercados en los sistemas productivos. El área de estudio incluyó en promedio 1700 m<sup>2</sup> en ORG y 3400 m<sup>2</sup> en CONV, por la extensión promedio de los arreglos productivos de hortalizas en cada sistema. Las enfermedades evaluadas entre los cultivos de estudio fueron las relacionadas con mayor limitación biológica en la región, con énfasis en las causadas por bacterias, nematodos y *Alternaria* sp.

Las guías de apoyo de identificación de patógenos, incluyeron formatos de descripciones de enfermedades (síntomas y signos)

y medidas de confirmación en el laboratorio de Sanidad Vegetal de la Universidad Católica de Oriente. Se evaluó la incidencia de cada enfermedad con respecto al número de plantas afectadas en el 20% de la población total de cada uno de los diferentes conjuntos de plántulas (planteles) sembradas por cultivo, durante y hasta completar su ciclo vegetativo. De esta forma se conoció el comportamiento semanal de cada plantación de siembra. Con base en las pruebas semanales, se determinó la prevalencia de la enfermedad como un indicador de la abundancia relativa de organismos durante el período de estudio.

### Análisis estadístico

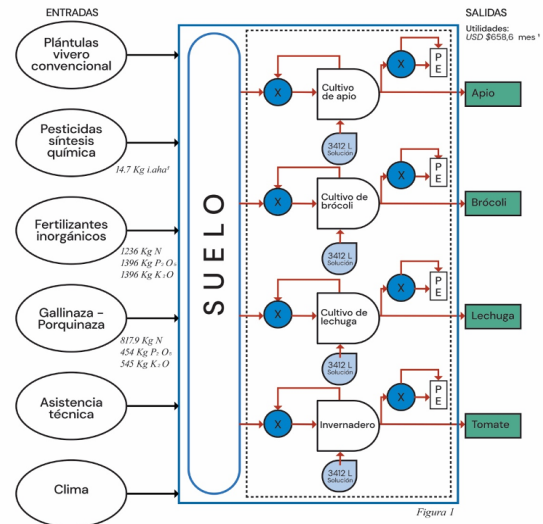
Se efectuó análisis descriptivo comparativo por medio del Modelo Lineal General (GLM), incorporando los contrastes multidimensionales derivados del MANOVA donde se tuvieron en cuenta los macronutrientes y micronutrientes, suplementando dicho análisis con variables relacionadas con las características en el manejo de los sistemas. Se utilizaron análisis multivariados de varianza y el modelo lineal general para identificar diferencias significativas entre los grupos de agricultores. Los datos se transformaron utilizando la familia de funciones BOX-COX. Para los análisis se utilizaron los paquetes estadísticos SAS University y R versión 3.4.1.

### Resultados y Discusión

#### Estructura y manejo de los subsistemas y componentes convencionales y orgánicos

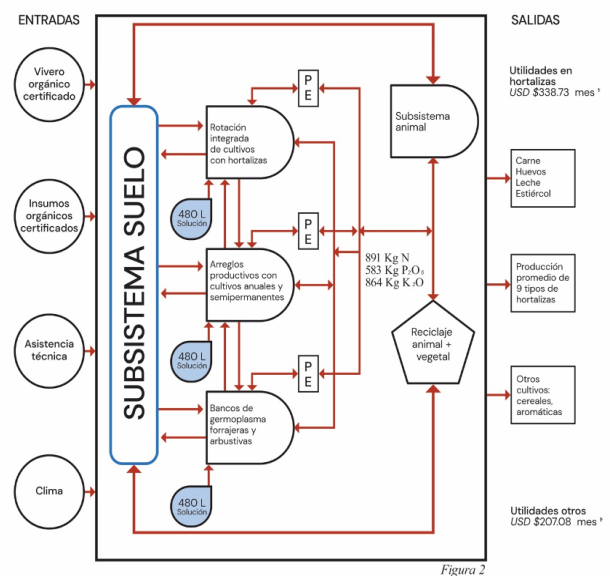
Los sistemas convencionales de producción de hortalizas estudiados en la zona Altiplano del Oriente antioqueño utilizaron principalmente estrategias de control con agroquímicos sin realizar un análisis exhaustivo de las causas reales de los problemas fitosanitarios. Este estado de apatía se reconoció agravado por medidas relacionadas que afectaron la salud del agroecosistema, e inició desde la misma programación de siembras, al comprar plántulas de viveros convencionales en la zona, que aplican pesticidas y fertilizantes semanalmente antes de su envío a campo de agricultores. Este procedimiento de aplicaciones con alta frecuencia, continuó en todas las etapas del ciclo de crecimiento de los cultivos, resultado de las características específicas del mercado de insumos externos y de todo el portafolio de sus servicios y productos.

De esta forma, el agricultor convencional ejerció continuamente un control negativo, al no tomar decisiones de valoración de mediciones de incidencia de patógenos y sus causas, asperjando con pesticidas los subsistemas de arvenses, suelos, cultivos y afectando la misma dinámica de plagas y enfermedades (figura 1).



**Figura 1.** Flujograma de tipo de sistema convencional de producción de hortalizas. **Nota:** P: plagas, E: enfermedades. **Fuente:** elaboración propia.

Dicho agroecosistema convencional predominante en la zona, desde la definición de entradas al mismo, inicia con limitantes, debido a que las condiciones de gestión del conocimiento y su operación, son impuestas desde otras fuentes, sin intervención significativa del agricultor, en una relación de arriba abajo, como lo es a través de la asistencia técnica particular, la tecnología sin filtros de valoración y las directrices del mercado de commodities, creando una relación de dependencia cíclica. Por su parte, el grupo de agricultores orgánicos fundamentó su accionar de salud del sistema, en el manejo de la nutrición de cultivos como pilar de la protección del sistema (figura 2).



**Figura 2.** Flujograma tipo de sistema orgánico de producción de hortalizas. **Nota:** P: plagas, E: enfermedades. **Fuente:** elaboración propia.

Ello resulta a partir de la integración que hacen del componente animal y vegetal presente en finca, apoyado en mayor diversidad de variedades y familias de hortalizas, acompañadas de otra serie de cultivos en menor escala, como arvenses, cereales, aromáticas, leguminosas y tubérculos y la explotación de ganado vacuno o especies animales menores (gallinas, cabras).

La procedencia de las plántulas es de vivero propio manejado orgánicamente. Las decisiones generales de gestión en el sistema ORG obedece a concertación y proceso de auditoría interna grupal, trabajo en el que se preparan aunque no siempre es fácil por las altas exigencias de estándares de cumplimiento, por lo que tratan de incorporar además de, la planificación de siembras con fines de mercados específicos, la fase de evaluación de resultados y la retroalimentación entre integrantes, para lograr estados más superiores de resiliencia social y productiva con control de entradas y salidas.

### Manejo de plántulas antes de su siembra en campo definitivo

En los agroecosistemas CONV las plántulas de hortalizas son adquiridas de viveros localizados en la misma región y donde se verificó que el manejo se concentra desde la semana 1 a la 4 antes de su envío a campo, en fertilización NPK foliar, microelementos y productos de enraizamiento a base de micorrizas. Además de desinfectantes como yoduro de hidrógeno en solución acuosa y polietoxietanol, bactericidas como sulfato de gentamicina y clorhidrato de oxitetraciclina y fungicidas como kasugamicina, mancozeb y oxiclورو de cobre.

En los agroecosistemas ORG las plántulas de hortalizas son producidas en vivero localizado en la finca de uno de los socios y donde la fertilización es a base de humus líquido cada 15 días. Para el efecto, las bandejas con las plántulas son sumergidas en su parte radical en la solución procedente de los lixiviados del vermicompost, el cual es fabricado en finca haciendo uso de camas preparadas bajo apriscos con cabras o ganado o en zona de alimentación de lombrices con mezclas de estiércoles de otras especies más residuos vegetales.

### Arreglo de cultivos de hortalizas

En cuanto a arreglos de cultivos, los agroecosistemas CONV realizaron siembras en franjas contiguas, pero sin socios o intercalamientos, máximo 5 cultivos sembrados por año. Con densidades mayores por cultivo por unidad de área, pero con menor biodiversidad en el mismo espacio con respecto a los ORG y con rotaciones por sitios de siembra menos frecuentes que los agroecosistemas ORG. Estos con mayor variabilidad total por parcelas (10 variedades o más de hortalizas), dispuestas en terrazas o surcos elevados, con cultivos acompañantes en bordes de parcelas.

En los CONV las brasicáceas se repitieron dos veces seguidas en cada parcela, luego se sembró un ciclo de apio (o papa en otras áreas) y al final del ciclo anual, la lechuga, y de esta forma fue completada una rotación de 365 días. Otros agricultores convencionales acostumbran el énfasis en un cultivo principal como la lechuga (4 ciclos seguidos) o la

zanahoria (2 ciclos seguidos) y después rotan con el cilantro para un ciclo anual (tabla 2).

**Tabla 2.** Manejo de Componentes y Subsistemas en Sistemas de Producción Convencional de Hortalizas

|  |   |
|--|---|
| <b>1. Arreglo de cultivos</b>                          | Caso 1: Campo abierto sin asociación ni mezclas: apio, pimentón, papa; brasicáceas y lechuga<br>Caso 2: Siembra preferencial de solo cultivo: lechuga o zanahoria   |
| <b>2. Rotación de cultivos</b>                         | Caso 1: Brasicáceas repiten 2 veces, luego apio o papa. Al final del ciclo anual, la lechuga<br>Caso 2: zanahoria o lechuga como monocultivo, se repiten 2 a 4 veces, rotan con cilantro  |
| <b>3. Proveedor de plántulas</b>                       | Vivero comercial convencional, que utiliza pesticidas y fertilizantes semanalmente  |
| <b>4. Productos en el vivero</b>                       | NPK foliar, microelementos y productos de enraizamiento. Yoduro de hidrógeno en solución acuosa, Polietoxietanol, Sulfato de gentamicina, Clorhidrato de oxitetraciclina, Kasugamicina, Mancozeb y Oxiclورو de cobre  |
| <b>5. Control de enfermedades en parcelas</b>          | Semanalmente: Apio: Trifloxistrobin, Ciproconazol-difenoconazol. Brócoli-Lechuga: Mancozeb, Oxiclورو de Cobre, Azufre Coloidal. Papa: Fluopicolide. A mitad del ciclo:  |
| <b>5.1 Control de enfermedades en parcelas (casos)</b> | Caso 1: Apio-lechuga: Propineb<br>Caso 2: lechuga o zanahoria en monocultivo: Propineb + Mancozeb + insecticidas  |
| <b>6. Otros productos</b>                              | Caso 1: Brócoli: Cipermetrina a la siembra y a los 8 días. Dimetoato cada 15 días en rotación con Spinetoram.<br>Caso 2: Lechuga: Metamidofos, Lambda cyhalothrin<br>Otros: Cadusafos, Carbofuran   |
| <b>7. Fertilización</b>                                | Estiércol de gallina-porcino (45,6 t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> ), cal (3,72 t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> ). Fertilizantes simples y compuestos (1,43 t CaO, 1,24 t N, 1,4 t P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> y 1,4 t K <sub>2</sub> O por hectárea-año) |
| <b>8. Consumo de pesticidas sin herbicidas</b>         | Caso 1: Apio: 1300 L ha-1 de solución, brócoli: 2888 L ha-1, lechuga: 1400 L ha-1, cada ciclo. La brasicáceas se repite   |
| <b>9. Control de malezas</b>                           | Herbicidas: Linuron inmediatamente después de la siembra. Glifosato para bordes   |
| <b>10. Manejo de residuos de cultivos</b>              | Caso 1: Desecación de residuos con Paraquat y Glifosato. Entierro de residuos con maquinaria. Volumen: 1479 L ha-1año-1<br>Caso 2: Paraquat o Afalon 15 días después de la siembra. Volumen: 4113 L ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>                                |

Fuente: elaboración propia.

Por su parte, la rotación acostumbrada en el sistema ORG consistió de siembras escalonadas en el espacio y tiempo controlado, e iniciando con hortalizas de hoja como la lechuga, para pasar luego a las brasicáceas de flor como brócoli (y en menor escala coliflor y repollo), luego se suceden hortalizas de fruto como el calabacín o habichuela, y pueden terminar con una hortaliza de raíz como la remolacha o aún papa precoz, para un ciclo anual. El apio y espinaca también se toman como hortalizas de tallo y hojas, que se siembran en pequeña escala, y les suceden hortalizas de fruto (o leguminosa) y de raíz, para iniciar de nuevo con lechuga. La cantidad de cada hortaliza sembrada se define o se distribuye por el número de semanas que normalmente dura su ciclo,

resaltándose en cantidad, las que tienen más mercado semanal. Se obtiene de esta forma al mismo tiempo y en forma semanal, cosecha de diferentes tipos y familias de hortalizas (Tabla 3).

**Tabla 3.** Manejo de Componentes y Subsistemas en Sistemas de Producción Orgánica de Hortalizas

|  |   |
|--|---|
| <b>1. Arreglo de cultivos</b>                  | 10 o más hortalizas de campo abierto (principales: lechuga, brasicáceas, espinaca, apio). Junto a cultivos de cereales, leguminosas, tubérculos, aromáticas, medicinales y forrajeras |
| <b>2. Rotación de cultivos</b>                 | Escalonada en el tiempo y el espacio. Siembra semanal según el período vegetativo, para reiniciar en el punto de inicio.<br>Hortalizas de hoja, flor, fruto, raíz y leguminosas       |
| <b>3. Proveedor de plántulas</b>               | Vivero con producción ecológica certificada   |
| <b>4. Productos en el vivero</b>               | Humus líquido cada 15 días. Sustrato: vermicompost, suelo de bosque secundario y turba alemana. complejos de bacillus   |
| <b>5. Control de enfermedades en parcelas</b>  | Nutrición orgánica, planificación de siembras, monitoreo semanal. Enmiendas elaboradas in situ. Extractos vegetales. Diversidad intraespecífica e interespecífica                     |
| <b>6. Otros productos</b>                      | <i>B. thuringiensis</i> . Control biológico. Liberaciones de depredadores y parasitoides; algunos biofungicidas   |
| <b>7. Fertilización</b>                        | Material compostado y bokashi (49,6 t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> ). Biolíquidos a base de sulfato. Cal 1,84 t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> hasta pH 6,0                 |
| <b>8. Consumo de pesticidas sin herbicidas</b> | 1600 a 2240 L ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> de bioplaguicidas  |
| <b>9. Control de malezas</b>                   | Selección manual de malezas. Mayor diversidad e intensidad de siembras como competencia   |
| <b>10. Manejo de residuos de cultivos</b>      | En alimentación animal (85%), compost (5%) y reutilización en suelo (10%). Buena presencia de brasicáceas en los residuos   |

Fuente: elaboración propia.

### Manejo de la fertilización de cultivos por sistema productivo

El manejo del subsistema suelo en los CONV en la zona de estudio, tradicionalmente se limitó a su carácter de soporte, a través del cual, las altas aplicaciones de fertilización inorgánica, el encalado repetitivo y las mezclas orgánicas de estiércoles, son comprados todos por fuera de las fincas. De esta forma, el aporte de nutrientes a los cultivos se estableció con la idea preconcebida de elevar el pH del suelo, a través de altos incrementos de los niveles de N, P, K y Ca.

Los agroecosistemas CONV para tratar de sostener la materia orgánica del suelo, realizaron aplicaciones de fuentes orgánicas en un volumen de 45.4 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (equivalentes a 5.725.4 kg CaO), distribuido máximo en dos aplicaciones en el año. Fuentes inorgánicas compuestas tipo NPK-Ca y otras, fueron utilizadas y normalmente solo al momento del aporte de cada cultivo con aportes anuales por ha-1 de: 1.431,4 kg CaO, 1.236 kg N, 1.396 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 1.396 kg K<sub>2</sub>O, más 1.192 kg CaO adicionales por uso de cal (tabla 2).

Por su parte, la nutrición de cultivos en los agroecosistemas ORG se fundamentó en el uso de compost y preparaciones rápidas de bokashi elaborados en las fincas, con mezclas de estiércol de las propias explotaciones animales y material

vegetal de podas de árboles y frutales, deshierbes y otros. Aplicados en siembra y dos veces máximo por ciclo productivo de cada plantel. Con una relación peso del bioinsuño de 1.5 a 1.75 partes vegetales a 1 parte animal, se aplicaron por año 49,6 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (875.5 kg N ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>). Hasta que los suelos alcanzaron pH de 6.0, se aplicó 662.7 kg CaO ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (tabla 3).

Entre agroecosistemas se presentó diferencia estadística significativa ( $p < 0.05$ ) para las variables químicas de suelo Ca, Mg, CICE, Fe y Cu, mientras en lo físico (texturas) no hubo diferencia ( $p > 0.05$ ) a nivel de las diferentes pruebas. Lo que indica variaciones en las condiciones de manejo nutricional de suelos entre agroecosistemas. No existió diferencia significativa en el pH entre sistemas ( $p > 0.05$ ). Los valores medios fueron 5.6 en CONV y 5.9 en ORG (tabla 4). Sin embargo, en el CONV el pH se mantuvo con tendencia a la baja entre años, aún con uso de altas aplicaciones de enmiendas minerales como la cal (3.72 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> = 1.192 kg CaO ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) y orgánicas como la gallinaza comercial, que aportó 5.725,4 kg CaO ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, y 1.431,4 kg CaO ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> aportados por fertilizantes (tablas 2, 4).

Por el contrario, en el sistema ORG, el pH subió entre años a través de aplicaciones fraccionadas de cal (662,7 kg CaO ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>). A partir de 5.9 se decidió no aplicarla más y continuaron con solo abono orgánico (875.5 kg N ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) (tabla 3, 4).

**Tabla 4.** Aspecto químico y físico comparativo entre sistemas

| Sistema | CONV                   |           | ORG                    |           |
|---------|------------------------|-----------|------------------------|-----------|
|         | Variable               | MEDIA±STD | CV                     | MEDIA±STD |
| pH      | 5.6±0.4 <sup>a</sup>   | 7.5       | 5.9±0.5 <sup>a</sup>   | 8.9       |
| Al      | 0.11±0.2 <sup>a</sup>  | 244.7     | 0.06±0.15 <sup>a</sup> | 237.8     |
| Ca      | 17.4±13.5 <sup>a</sup> | 77.5      | 5.2±3.1 <sup>b</sup>   | 60.1      |
| Mg      | 2.7±3.3 <sup>a</sup>   | 122.1     | 0.9±0.8 <sup>b</sup>   | 99.5      |
| K       | 0.66±0.2 <sup>a</sup>  | 35.6      | 0.62±0.3 <sup>a</sup>  | 51.4      |
| Na      | 0.03±0.04 <sup>a</sup> | 138.9     | 0.02±0.03 <sup>a</sup> | 147.1     |
| CICE    | 21.0±16.5 <sup>a</sup> | 78.5      | 6.8±3.8 <sup>b</sup>   | 56.0      |
| P       | 53.3±65.8 <sup>a</sup> | 123.3     | 29.2±29.9 <sup>a</sup> | 102.2     |
| S       | 23.8±14.5 <sup>a</sup> | 61.1      | 26.1±22.5 <sup>a</sup> | 86.2      |
| Fe      | 109.5±92 <sup>a</sup>  | 84.6      | 58.5±28.6 <sup>b</sup> | 48.9      |
| Mn      | 7.8±4.9 <sup>a</sup>   | 63.8      | 7.0±5.0 <sup>a</sup>   | 71.2      |
| Cu      | 4.8±4.1 <sup>a</sup>   | 84.9      | 2.4±1.0 <sup>b</sup>   | 43.2      |
| Zn      | 6.1±3 <sup>a</sup>     | 49.2      | 6.7±4.3 <sup>a</sup>   | 65.1      |
| B       | 0.32±0.3 <sup>a</sup>  | 104.7     | 0.35±0.24 <sup>a</sup> | 67.9      |

**Nota.** Análisis de MANOVA: Wilk's L.  $p < 0.0001$ ; Pillai's Trace  $p < 0.0001$ . **Fuente:** elaboración propia.

Abonos fabricados en finca de los sistemas ORG aportaron en cada año de seguimiento 3.345 kg CaO ha<sup>-1</sup>, encontrándose variaciones entre años en cuanto a tipo, cantidades y manejo de las materias primas utilizadas, con contenidos de humedad cercanos al 40%, perdiendo así

mayor eficiencia, reflejado en diferencias significativas de contenidos minerales de MgO y Zn, debido a condiciones de ajuste y estandarización de procesos de protocolización de fabricación de abonos para el cumplimiento de la norma ecológica. Aun así, el sistema CONV aplicó al sumar insumos orgánicos e inorgánicos, 2,4 veces más productos alcalinizantes por unidad de área que los ORG.

A condiciones alcanzadas de  $\text{pH} > 5.5$  en cada agroecosistema evaluado, los resultados por manejo son mejores en los sistemas ORG debido a la menor concentración de nutrientes en los suelos. Los niveles de hierro (Fe) entre sistemas de manejo fueron significativamente más altos en el CONV ( $p < 0.05$ ) con 109.5 mg/Kg, que en el ORG de 58.5 mg/Kg, que puede significar posible toxicidad, en especial en el primero de ellos. La formación de complejos fuertes entre el Fe y Al y la materia orgánica disuelta, remueve los primeros de la reserva biodisponible y mitiga su potencial de toxicidad [8]. Por ello, la importancia del manejo de las cantidades y calidades de las enmiendas orgánicas en los planes de nutrición, siendo mejor en el sistema ORG.

El agroecosistema ORG presentó ventajas comparativas al no aplicar herbicidas sobre arvenses y residuos, al manejar materias primas propias y aplicar compost superficialmente sobre el terreno, además de no sobrefertilizar, lo que permite así que la MO del suelo cumpla mejor su función de complejizar el Fe, Al y Cu y hacerlos disponibles en una medida más acorde con las necesidades de los cultivos, sin causar toxicidad.

No hubo diferencia significativa en la disponibilidad del fósforo (P) entre sistemas de manejo, aunque con una provisión diferenciada. La aplicación de materia orgánica suministra el P requerido en el sistema ORG a través de la presencia y descomposición de buen volumen de arvenses manejadas sin herbicidas, por ciclos continuos de rotación de arreglos diversos de cultivos y en el material aplicado y enriquecido en P con los bioabonos.

Contribuye con el bloqueo de sitios de adsorción de P, la regulación del pH y la formación de complejos de Fe y Al debido a las moléculas orgánicas de los materiales empleados [9]. Trayectoria que los sistemas ORG tratan de estandarizar, al incorporar a través del abono orgánico y con proporciones variables de  $\text{P}_2\text{O}_5$  añadidas como roca fosfórica (2 a 3% del peso total de la mezcla inicial). El sistema CONV por su parte, incorporó 1.852 kg de  $\text{P}_2\text{O}_5$  año-1, 2,0 veces más que el sistema ORG.

El Calcio en el suelo presentó diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre sistemas productivos. El 47.0% de los diferentes resultados de este nutriente en los predios ORG, presentaron niveles aceptables, mientras en los sistemas CONV solo el 25%, al aplicar en el primero, cal en cada nuevo ciclo de cultivos y abonos orgánicos altos en calcio, para un total de 8,3 t CaO ha-1 año-1. En los sistemas ORG el Ca se encontró, por el contrario, en el límite crítico mínimo manejable de 5.2 (tabla 4).

Por otra parte, se encontró diferencia significativa en la disponibilidad de Magnesio (Mg) ( $p < 0.05$ ). Mientras en el

sistema CONV, el 55% de los resultados presentaron niveles aceptables; mientras en el sistema ORG el 41.2% de ellos, como efecto de manejos diferenciales de las fuentes de estiércol disponibles en cada finca, y sus proporciones con materiales vegetales en la fabricación de bioabonos y al abandono del uso de la cal dolomita como aporte de Mg.

### Manejo de las enfermedades en sistemas convencionales y orgánicos de hortalizas

En los sistemas convencionales el cultivo del apio fue fumigado con Trifloxistrobin, y Ciproconazol-difenoconazol en sus primeras etapas; mientras que tanto el brócoli-como la lechuga fueron asperjadas con Mancozeb, Oxiclورو de cobre, y Azufre coloidal. Hacia la mitad del ciclo de lechuga como del apio, se aplicó Propineb. Se contabilizó así un consumo de 1.300 l ha-1 de solución de pesticidas en apio, 1.400 l ha-1 en lechuga y para los dos ciclos de brócoli, un consumo de 5.776 l ha-1 y en conjunto para el control de malezas se aplicaron 1.479 l ha-1 de herbicidas en solución, para un total de 9.955 l ha-1 de solución de pesticidas aplicados en un año. Lo que puede observarse de este procedimiento, es que se aplican diferentes ingredientes activos con la idea de reforzar el control de los mismos patógenos presentes, ocasionando sobredosificaciones, además que se desperdicia producto por aplicaciones para patógenos no presentes o no limitantes (tabla 2).

Sin embargo, las aplicaciones no terminan allí, ya que también para el brócoli, se realizó control de plagas con Cipermetrina tanto a la siembra y a los 8 días después de siembra y el Dimetoato fue aplicado en rotación cada 15 días con Spinetoram y en general fueron aplicados a todo el agroecosistema otros productos como Cadusafos y Carbofuran con acción insecticida y nematocida, lo que implicaría otros volúmenes adicionales de consumo.

En el caso más extremo del monocultivo de lechuga se llegó a aplicar hasta 7.180 l ha-1 de solución de pesticidas en solo 6.5 meses y con uso principal de los fungicidas Propineb y Mancozeb. Y así mismo, en este tipo de arreglos, las aspersiones de herbicidas en solución fueron a los 15 días después de siembra con Paraquat o Afalon con un consumo de 4.113 l ha-1 año-1, alcanzándose volúmenes totales de 17.368 l ha-1 de pesticidas anualmente. Y en cuanto a control de plagas se aplicó Metamidofos, Diazinón y Lambda cialotrina (tabla 2). Este modo de actuar es consecuencia de un alto predominio de familias de agricultores, permeadas por la cultura de replicar dicho procedimiento cíclico, donde la participación familiar en las labores es cada vez menor y realza la contratación de mano de obra especializada en el tema de las siembras, fumigaciones y cosecha. Fortalecido por la alta intermediación en la distribución y comercialización de la cosecha, sin exigencias de diferenciación de productos y sin control de la inocuidad.

En los sistemas orgánicos el manejo de las enfermedades se abordó, por el contrario, como si se tratará de un conjunto uniforme y no de intervenciones aisladas, con la diferencia y evidencia, que no se aplicaron pesticidas de síntesis química en ninguna etapa de los ciclos de producción de hortalizas. El tratamiento de la salud del sistema, continuó

fundamentándose en la diversificación aumentada con el mayor número de especies de cultivos a través de la planificación de siembras escalonadas, en la nutrición a partir de la protocolización y evaluación de las calidades del compost y bocashi de finca (49.6 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>). Además, fueron aplicados 1.920 l ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> de biopesticidas a base de sulfatos (tabla 3). A diferencia del sistema CONV, en el grupo de agricultores orgánicos, su motivación individual y grupal les permite defender un estilo de vida saludable y por supuesto exigente por la alta presión de la gran mayoría de vecinos convencionales. Es fortalecido en cuanto a que por lo menos uno de cada tres hijos junto a sus padres, participa, se prepara y asume responsabilidades para la dedicación a actividades agrícolas con un enfoque orgánico con sentido social, de esta forma se ha verificado una mayor estabilidad o permanencia de la familia en la actividad cuando se superan los 3 años de insistencia y resiliencia frente a las dificultades y adversidades.

De este modo de actuar, los resultados en cuanto a la prevalencia de enfermedades, como lo muestra el peso relativo o la abundancia de ellas durante el período de estudio, diferencias significativas entre agroecosistemas ( $p < 0,05$ ) se presentaron en *Alternaria* sp., para el cultivo de lechuga, con una prevalencia de 20.3% en el ORG y 0.7 en CONV (tabla 5). Esto tiene explicación en la presencia al mismo tiempo de un mayor número de diferentes estados de desarrollo fenológico del cultivo de lechuga en los agroecosistemas orgánicos. Sin embargo, la *Alternaria* sp., en el cultivo de la lechuga se presentó con una incidencia significativa del 7.2% en los sistemas ORG comparada con los sistemas CONV ( $p < 0.05$ ), cuyos valores se consideraron manejables para el grupo de agricultores hacia la certificación ecológica (tabla 5).

**Tabla 5.** Comparaciones entre sistemas, relacionadas con el porcentaje de prevalencia e incidencia de las enfermedades evaluadas

| Sistema                      | Cultivo | P-E1   | P-E2   | P-E3  | P-E4   | P-E5   |
|------------------------------|---------|--------|--------|-------|--------|--------|
| Orgánico                     | Lechuga | 32.0 a | 20.3 a | 6.8 a | 0.5 a  | 20.3 a |
| Convencional                 | Lechuga | 28.6 a | 18.5 a | 2.9 a | 0.0 a  | 0.7 b  |
| Orgánico                     | Apio    | 6.3 a  | 5.3 a  | 0.0 a | 37.9 a | 0.0 a  |
| Convencional                 | Apio    | 0.0 b  | 0.0 a  | 0.0 a | 9.1 b  | 0.0 a  |
| Orgánico                     | Brócoli | 11.9 a | 0.0 a  | 0.0 a | 0.0 a  | 24.3 a |
| Convencional                 | Brócoli | 13.9 a | 0.0 a  | 0.0 a | 0.0 a  | 20.3 a |
| General Comparative Analysis |         |        |        |       |        |        |
| Orgánico                     |         | a      | a      | a     | a      | a      |
| Convencional                 |         | a      | a      | a     | b      | b      |
| Sistema                      | Cultivo | I-E1   | I-E2   | I-E3  | I-E4   | I-E5   |
| Orgánico                     | Lechuga | 9.7 a  | 8.2 a  | 2.2 a | 0.1 a  | 7.2 a  |
| Convencional                 | Lechuga | 10.0 a | 9.1 a  | 2.4 a | 0.0 a  | 0.1 b  |
| Orgánico                     | Apio    | 1.9 a  | 1.3 a  | 0.0 a | 23.7 a | 0.0 a  |
| Convencional                 | Apio    | 0.0 a  | 0.0 a  | 0.0 a | 1.2 b  | 0.0 a  |
| Orgánico                     | Brócoli | 4.2 a  | 0.0 a  | 0.0 a | 0.0 a  | 9.5 a  |
| Convencional                 | Brócoli | 3.5 a  | 0.0 a  | 0.0 a | 0.0 a  | 8.9 a  |

P: prevalencia. I: Incidencia. E1: *Xanthomonas* sp., E2: *Pseudomonas* sp., E3: Complejo de *Erwinia* sp., *Enterobacter* sp. y *Serratia* sp. E4: Nematodos, E5: *Alternaria* sp.- Para Prevalencia MANOVA: Wilks L  $p < 0.0001$ , Phillai's  $p < 0.0001$ , Roy's G  $p < 0.0001$ . Para Incidencia MANOVA:

Wilks L  $p > 0.05$ , Phillai's  $p > 0.05$ , Roy's G  $p > 0.05$ . Fuente: elaboración propia.

Para el cultivo de la lechuga no se encontraron otras diferencias significativas entre agroecosistemas CONV y ORG ( $p > 0.05$ ) en enfermedades. Sin embargo, las tasas de prevalencia de *Xanthomonas* sp. y *Pseudomonas* sp. fueron similares en ambos sistemas, es decir, cerca de un tercio y un quinto del tiempo durante el período de estudio, respectivamente. En el cultivo de brócoli no se encontró diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) entre sistemas, aunque *Alternaria* sp., ocurrió en el 20,3% del período de estudio en sistemas CONV versus 24,3% en sistemas ORG (tabla 5).

Asimismo, se identificaron complejos bacterianos en sistemas CONV al repetir lechuga en diferentes franjas, aún con aplicaciones de 4.342,1 l ha<sup>-1</sup> de soluciones de pesticidas por ciclo trimestral. En ambos sistemas, las pruebas bacterianas mostraron resultados similares en lechuga ( $p > 0.05$ ); aproximadamente 10% de incidencia con *Xanthomonas* sp. y *Pseudomonas* sp., y 2,5% de incidencia con el complejo de *Erwinia* sp., *Enterobacter* sp. y *Serratia* sp. El análisis de varianza multivariante, que evaluó todos los tipos de enfermedad simultáneamente, no mostró diferencias ( $p > 0,05$ ) en la incidencia de enfermedad entre los dos sistemas. Demostrando las ventajas del enfoque y manejo de los orgánicos frente a los convencionales, que se concentran en una alta dependencia agroquímica que no es favorable ni económica ni ambientalmente.

El manejo aprovechable de la materia orgánica en sistemas de bajo consumo de insumos externos, encaminado a consumir subproductos y residuos de origen vegetal y animal de fácil disponibilidad, ayuda a crear condiciones más oligotróficas para estabilizar las comunidades biológicas, lo que promueve la salud del suelo [10].

El apio presentó diferencias significativas ( $p < 0.05$ ), especialmente en nematodos entre los sistemas. *Meloidogyne* sp., se destacó por una prevalencia de 37,9% en fincas ORG versus 9,1% en fincas CONV. La presencia de *Meloidogyne* sp. en los sistemas ORG afectó el crecimiento y el rendimiento del apio, aunque la diversidad y densidad de nematodos benéficos en los suelos ORG también fue mayor puesto que no existe aplicación de nematicidas, en contraste con la disminución en sistemas CONV por el uso extensivo de dichos agroquímicos.

El apio presentó diferencia significativa en la incidencia de *Meloidogyne* sp., con un valor de 23,7 % en sistemas ORG versus 1,2 % en sistemas CONV ( $p < 0,05$ ), con una mayor densidad promedio en sistemas ORG (115 > 80 nematodos por 100 cc de suelo), mientras que este valor fue cercano a cero en los sistemas CONV.

Nematodos depredadores como *Dorylaimus* sp. y *Mononchus* sp. fueron relativamente más abundantes en los sistemas ORG que en los sistemas CONV (126 vs 86) debido a la menor perturbación del suelo y a los bioinsumos aplicados a dosis de 0,89 t N ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> sin efecto nematicida. Según Ferris et al. [11], la labranza frecuente del suelo, así como el arado profundo seguido de la fumigación del suelo y

la fumigación repetida de herbicidas persistentes provocan trastornos al servicio de la fauna de nematodos.

Los agricultores CONV utilizaron Cadusafos y Carbofuran para controlar nematodos, además de pesticidas como Fipronil, Cipermetrina, Paraquat, Glifosato y Linuron, como único método de control de plagas, muchos de los cuales podrían ejercer actividad nematicida colateral. Además, las dosis de 2,06 t N ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> totales entre fuentes orgánicas más inorgánicas utilizadas en estas fincas, tendrían los mismos efectos, al superar en 2,7 veces las aplicaciones que pueden ejercer este tipo de acción (742,5 kg) en la clase de suelo predominante en la región, mientras que las fincas ORG aplicaron solo 892 kg N ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Al-Hazmi & Dawabah [12] demostraron que la urea y de manera similar otros fertilizantes NPK tenían acción nematicida si se aplicaban en cantidades superiores a 300 mg de N kg<sup>-1</sup> de suelo. En los sistemas ORG, el brócoli y la lechuga mostraron un buen comportamiento fisiológico a pesar de la presencia de nematodos; con ello se compensó la presencia de enfermedades en el sistema ORG mediante la siembra de cultivares menos susceptibles que el apio.

## Conclusiones

Las marcadas diferencias entre sistemas de producción orgánica y convencional de hortalizas en la zona Altiplano, existen en términos de manejo de enfermedades y subsistemas relacionados, como son la nutrición de cultivos, el deshierbe y el tratamiento de residuos de cultivos. Las fincas CONV giran en torno a los fertilizantes y pesticidas como única intervención, a diferencia del vínculo integral existente en el uso del conocimiento sobre bioinsumos propios, el control selectivo de arvenses y el reciclaje de residuos en los sistemas ORG, que favorecen la obtención de resultados favorables de forma más económica, saludable y satisfactoria.

## Conflicto de intereses

Los autores expresan que no existe conflictos de interés al redactar el manuscrito

## Referencias

- [1] A. Rendón, J. Caballero, A. Arias, A. González, J. Arenas, and J. Gallego, "Estudio geológico-geomorfológico en el oriente cercano a Medellín, como apoyo a la búsqueda de actividad tectónica reciente," *Boletín de ciencias de la tierra*, vol. 29, pp. 39–54, 2011.
- [2] A. Londoño, *Cambios de uso del suelo en el Altiplano en los últimos 25 años*, vol. 1. Universidad Internacional de Andalucía, 2012.
- [3] Instituto Geográfico Agustín Codazzi, *Estudio general de suelos y zonificación de tierras: departamento de Antioquia*, vol. 1. Bogotá, Colombia, 2007.
- [4] N. W. Osorio, *Manejo de nutrientes en suelos del trópico*. 2015.
- [5] S. J. Sarandón and C. C. Flores, "Evaluación de la sustentabilidad en agroecosistemas: una propuesta metodológica," *Agroecología*, vol. 4, pp. 4–19, 2009.
- [6] M. Astier, O. Masera, and Y. Galván, *Evaluación de sustentabilidad. Un enfoque dinámico y multidimensional*. 2008.
- [7] S. Sarandón and C. Flores, *Agroecología. Bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables*, vol. 1. 2014.
- [8] B. Jasen, "The mobility of aluminium, iron and organic matter in acidic," *Universiteit van Amsterdam, Amsterdam*, 2003.
- [9] P. Bhattacharyya et al., "Effects of 42-year long-term fertilizer management on soil phosphorus availability, fractionation, adsorption–desorption isotherm and plant uptake in flooded tropical rice," *Crop Journal*, vol. 3, no. 5, pp. 387–395, Oct. 2015, doi: 10.1016/j.cj.2015.03.009.
- [10] A. H. van Bruggen, A. Gamliel, and M. R. Finckh, "Plant disease management in organic farming systems," *Pest Manag Sci*, vol. 72, no. 1, pp. 30–44, Jan. 2016, doi: 10.1002/ps.4145.
- [11] H. Ferris, B. S. Griffiths, D. L. Porazinska, T. O. Powers, K.-H. Wang, and M. Tenuta, "Reflections on Plant and Soil Nematode Ecology: Past, Present and Future," 2012.
- [12] A. S. Al-Hazmi and A. A. M. Dawabah, "Effect of urea and certain NPK fertilizers on the cereal cyst nematode (*Heterodera avenae*) on wheat," *Saudi J Biol Sci*, vol. 21, no. 2, pp. 191–196, Apr. 2014, doi: 10.1016/j.sjbs.2013.10.002.