



**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL  
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA**

**DIVISIÓN DE EDUCACIÓN**

**PROGRAMA DE POSGRADO**

**Productividad, eficiencia de uso del agua de riego, nitrógeno y energía y caracterización de prácticas agroecológicas en la producción de hortalizas orgánicas: estudios de caso en Costa Rica**

**Tesis sometida a consideración de la División de Educación y el Programa de Posgrado como requisito para optar al grado de**

***MAGISTER SCIENTIAE***

**en Agroforestería y Agricultura Sostenible**

**Sandro Santana Polanco**

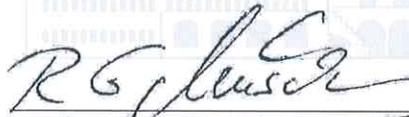
**Turrialba, Costa Rica**

**2021**

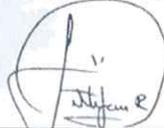
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del estudiante, como requisito parcial para optar por el grado de

**MAGISTER SCIENTIAE EN AGROFORESTERÍA Y  
AGRICULTURA SOSTENIBLE**

**FIRMANTES:**



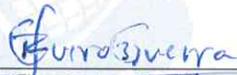
Reinhold Muschler, Ph.D.  
**Director de tesis**



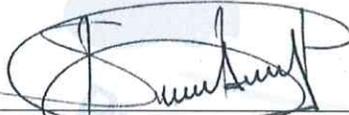
Guillermo Detlefsen Rivera, Ph.D.  
**Miembro Comité Consejero**



Smerlin Paulino Frías, M.Sc.  
**Miembro Comité Consejero**



Roberto Quiroz Guerra, Ph.D.  
**Decano, Escuela de Posgrado**



Sandro Santana Polanco  
**Candidato**

## DEDICATORIA

A mi madre, Mónica Polanco, por su dedicación, por apoyarme en todos mis proyectos personales y profesionales, por enseñarme el valor del trabajo y de la honestidad, por estar ahí cuando más te necesito, mostrando siempre tu apego con tus hijos y tu nieta.

A mi hija Salma Santana, que llegó en el mejor momento de mi vida, llenando de luz mi existencia. Con tu presencia he aprendido a valorar más la vida, tú eres mi motor para seguir adelante, te amo mi princesa.

A mis hermanos Delvi Sauri Carrasco y Samuel Antonio Estévez por ser hombres de bien, por preocuparse para que siempre haya unión en la familia y por apoyarme con el cuidado de mi hija mientras estuve cursando la maestría.

*‘La tierra proporciona lo suficiente para satisfacer las necesidades de cada hombre,  
pero no la codicia de cada hombre’  
Mahatma Gandhi*

## AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la vida, por acompañarme y cuidarme a donde quiera que vaya, por proveerme de salud, por darme una familia maravillosa, por estar presente cuando más te necesito.

A mi madre, por ocuparse de las obligaciones que dejé pendiente en mi país, por darme ánimo cada día mientras estuve cursando la maestría.

A mi comité consejero, Reinhold G. Muschler, Guillermo Detlefsen y Smerlin Paulino Frías, por sus disponibilidad, experiencias, conocimientos, rigurosidad y aportes para el desarrollo de esta investigación.

A los productores dueños de las fincas donde estuve realizando los trabajos de campo para esta investigación, por recibirme en sus casas a pesar de que estuvimos en pandemia por el COVID-19 y por colaborarme con la recolección de los datos en campo.

Al CATIE, MESCYT y MARENA, por darme la oportunidad de realizar mis estudios de maestría en este país con tantas virtudes y gente maravillosa.

A mis compañeras y compañeros del CATIE más cercanos, que me permitieron conocer la riqueza de la cultura de sus países y apoyarme durante esa hermosa experiencia.

*“Cuando todo parece ir en contra de usted, recuerde que el avión despegó en contra del viento, no con él.”*  
*Henry Ford*

## TABLA DE CONTENIDO

Artículo. Productividad, eficiencia de uso de insumos y caracterización de prácticas agroecológicas en la producción de hortalizas orgánicas en Costa Rica .....	1
Resumen.....	1
Palabras clave.....	1
Abstract .....	2
Key words .....	2
Introducción .....	3
Sustentabilidad y productividad en sistemas orgánicos vs convencionales.....	3
Eficiencia de uso de insumos agua de riego, nitrógeno y energía .....	4
Revolución verde .....	5
Alternativas agroecológicas para la mejora de la productividad y eficiencia de uso de insumos.....	5
Metodología .....	6
Ubicación y descripción de las áreas de estudio.....	6
Selección de productores, sistemas y cultivos .....	7
Mediciones .....	7
Recolección de datos.....	8
Productividad .....	8
Eficiencia de uso del agua de riego, nitrógeno y energía .....	9
La eficiencia de uso del agua de riego (EUAr).....	9
La eficiencia de uso del nitrógeno (EUN) .....	10
La eficiencia de uso de energía (EUE) .....	11
Caracterización de prácticas agroecológicas .....	11
Resultados y discusión.....	12
Productividad .....	12
Eficiencia de uso del agua de riego, nitrógeno y energía .....	15
La eficiencia de uso del agua de riego (EUAr).....	15
La eficiencia de uso del nitrógeno (EUN) .....	16
La eficiencia de uso de energía (EUE) .....	18
Caracterización de prácticas agroecológicas .....	21
Costo de producción.....	26
Análisis de fortalezas y debilidades.....	27
Análisis DAFO.....	28
Conclusiones y recomendaciones.....	30
Bibliografía.....	32

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Ubicación geográfica de las áreas de estudio en la provincia de Cartago, Costa Rica.	6
<i>Figura 2.</i> Diseño de la configuración de las unidades de medición de parcelas de 5 m <sup>2</sup> dentro de canteros de 12 m <sup>2</sup> .....	8
<i>Figura 3.</i> Evolución de la productividad promedio a nivel mundial de diferentes cultivos entre 1961 y 2018.....	13
<i>Figura 4.</i> Productividad de hortalizas orgánicas del actual estudio en comparación con estudios similares en producción orgánica y convencional.....	14
<i>Figura 5.</i> Eficiencia de uso del agua de riego en la producción de hortalizas orgánicas del actual estudio en comparación con estudios similares en producción convencional.....	16
<i>Figura 6.</i> Eficiencia de uso del nitrógeno en la producción de hortalizas orgánicas del actual estudio en comparación con estudios similares en producción convencional .....	17
<i>Figura 7.</i> Eficiencia de uso de energía en la producción de hortalizas orgánicas del actual estudio en comparación con estudios similares en producción convencional.....	20
<i>Figura 8.</i> Rotaciones de cultivos y ciclos de producción de las hortalizas en las cuatro fincas estudiadas, Cartago, Costa Rica.....	25

## ÍNDICE DE CUADROS

<i>Cuadro 1.</i> Información de las fincas donde se desarrolló el trabajo de campo.....	6
<i>Cuadro 2.</i> Información general de las fincas estudiadas, Cartago, Costa Rica.....	7
<i>Cuadro 3.</i> Análisis económico de la producción de hortalizas orgánicas (una secuencia de cebollino, lechuga, perejil, remolacha, repollo y rúcula, calculada para un periodo de cultivos de 12 meses) en las fincas evaluadas, Cartago, Costa Rica.....	12
<i>Cuadro 4.</i> Productividad (kg de peso fresco/m <sup>2</sup> /año), suministro de agua de riego (l/m <sup>2</sup> /año) y eficiencia de uso del agua de riego (kg de peso fresco/l) de las fincas orgánicas evaluadas, Cartago, costa Rica.....	15
<i>Cuadro 5.</i> Productividad, aplicación anual de composta y de nitrógeno y eficiencia de uso del mismo (kg de peso fresco/kg N aplicado), de las fincas orgánicas evaluadas, Cartago, Costa Rica.....	17
<i>Cuadro 6.</i> Cantidades de insumos entradas, salidas (kg de peso fresco/m <sup>2</sup> /año), equivalentes energéticos totales y eficiencia energética de las fincas Doña María y Cimarrones, Cartago, Costa Rica.....	19
<i>Cuadro 7.</i> Cantidades de insumos entradas, salidas (kg de peso fresco/m <sup>2</sup> /año), equivalentes energéticos totales y eficiencia energética de las fincas Los Helechos y La Sanita, Cartago, Costa Rica.....	19
<i>Cuadro 8.</i> Caracterización de prácticas agroecológicas, frecuencia, volumen o áreas trabajadas e importancia para la productividad por m <sup>2</sup> /año en la producción de 6 hortalizas orgánicas (remolacha, repollo, cebollino, lechuga, perejil y rúcula) en las fincas evaluadas.....	21

<i>Cuadro 9.</i> Costo de las prácticas agroecológicas (USD/m <sup>2</sup> /año) en la producción de seis hortalizas en las fincas orgánicas evaluadas en comparación con prácticas agrícolas en fincas convencionales.....	26
<i>Cuadro 10.</i> Representación porcentual de las principales debilidades y fortalezas identificadas en las fincas.....	27
<i>Cuadro 11.</i> Resultados del análisis DAFO de las fincas de hortalizas orgánicas.....	29
<i>Cuadro 12.</i> Equivalentes energéticos de insumos y salidas en la producción de hortalizas y frutas.....	47

## ÍNDICE DE ANEXOS

<i>Anexo 1.</i> Protocolo de entrevista para productores.....	41
<i>Anexo 2.</i> Equivalentes energéticos.....	47

## LISTA DE ACRÓNIMOS, ABREVIATURAS Y UNIDADES

- APOYA: Asociación de Productores Orgánicos y Agrosostenibles, Turrialba
- APROZONOC: Asociación de Productores Orgánicos de la Zona Norte de Cartago
- AR: Agua de riego
- ARm: Agua de riego muestreada
- B/C: Relación beneficio / costo
- CATIE: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
- COVID-19: Enfermedad infecciosa provocada por el virus SARS-CoV-2
- DAFO: Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades
- EUAr: Eficiencia de uso del agua de riego
- EUE: Eficiencia de uso de energías
- EUN: Eficiencia de uso del nitrógeno
- FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
- GEI: Emisiones de gases de efecto invernadero
- IFOAM: Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Ecológica
- IMN: Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica
- kWh: Kilovatio-hora
- MM: Microorganismos de montaña
- N: Nitrógeno
- NRCS: Servicio de Conservación de Recursos Naturales, USA
- PNAO: Programa Nacional de Agricultura Orgánica, Costa Rica
- PPN: Productividad parcial del factor nitrógeno
- USD: Dólar estadounidense

## Artículo. Productividad, eficiencia de uso de insumos y caracterización de prácticas agroecológicas en la producción de hortalizas orgánicas en Costa Rica

Sandro Santana Polanco<sup>1</sup>, Reinhold G. Muschler<sup>2</sup>, Guillermo Detlefsen<sup>2</sup>, Smerlin Paulino Frías<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, MARENA, República Dominicana

<sup>2</sup> Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, Costa Rica

<sup>3</sup> Universidad Nacional Evangélica, UNEV, República Dominicana

### Resumen

La producción de hortalizas orgánicas hace hincapié en la producción de alimentos que sean rentables, ecológicamente racionales y eficientes en el uso de los insumos. Esta investigación se desarrolló en cuatro fincas líderes en Tierra Blanca, El Eslabón, Chitaría y Pacayas en Costa Rica, con los objetivos de evaluar (1) la productividad, (2) la eficiencia de uso de los insumos agua de riego, nitrógeno y energía y (3) caracterizar las prácticas agroecológicas más efectivas en la producción de hortalizas orgánicas. La metodología se fundamentó en la aplicación de entrevistas semiestructuradas y abiertas a los productores, mediciones de los parámetros relevantes para cuantificar la productividad y la eficiencia de uso del agua de riego, nitrógeno y energía por unidad de biomasa producida (kg de peso fresco/m<sup>2</sup>/año), además de un diagnóstico para identificar y caracterizar las prácticas agroecológicas consideradas clave. Los resultados mostraron que en términos económicos las fincas tuvieron una relación beneficio/costo promedio de 2,15 y que la productividad promedio de las hortalizas orgánicas fue de 10,3 kg de peso fresco/m<sup>2</sup>/año, con un rango de 8,7 a 12,0 kg. En promedio, estos sistemas de producción orgánica produjeron 1,8 veces más que los sistemas convencionales comparables con la misma unidad de superficie. Se determinó una eficiencia de uso del agua de riego con un promedio de 0,01 kg de peso fresco/l de agua (de riego suplementario), con un rango de 0,01 a 0,02. En promedio, los sistemas de producción orgánica produjeron 2 veces menos que los sistemas convencionales comparables con la misma cantidad de agua aplicada. La PPN como *proxi* para la EUN mostró un promedio de 627 kg de peso fresco/kg N aplicado, con un rango de 435 a 910 kg. En promedio, los sistemas de producción orgánica produjeron 2,2 veces más que los sistemas convencionales comparables con la misma cantidad de nitrógeno aplicado. La eficiencia de uso de energía mostró un promedio de 4,5 MJ salidas/MJ entradas, con un rango de 2,9 a 6,5 MJ. En promedio, los sistemas de producción orgánica produjeron 1,8 veces más que los sistemas convencionales comparables con la misma cantidad de energía utilizada. De las 12 prácticas agroecológicas identificadas, los productores indicaron que las utilizadas con más frecuencia y de mayor importancia para lograr las productividades observadas fueron la aplicación de *bocashi* y otras compostas, la utilización de microorganismos de montaña ('MM'), *Bacillus* spp., *Trichoderma* y biofermentos, así como la rotación de los cultivos. El costo promedio para las prácticas agroecológicas (USD 0,24/m<sup>2</sup>/año) fue 62% más bajo que las prácticas agrícolas en fincas convencionales comparables (USD 0,63/m<sup>2</sup>/año). Los resultados de la productividad, del uso de los insumos y la caracterización de prácticas agroecológicas revelaron que la producción de hortalizas orgánicas ofrece un gran potencial para mejorar la eficiencia comparado con la producción convencional. Trabajos futuros deben superar limitantes del presente estudio para corroborar las ventajas reportadas e identificar los factores claves que permiten maximizar los beneficios de sistemas de producción orgánica.

**Palabras clave:** Agroecología, eficiencia de uso, hortalizas, productividad, sustentabilidad.

## Abstract

Organic vegetable production emphasizes the production of food that is profitable, ecologically sound and efficient in the use of inputs. This research was carried out on four leading farms in Tierra Blanca, El Eslabón, Chitaría and Pacayas in Costa Rica, with the objectives of evaluating (1) productivity, (2) the efficiency of use of irrigation water, nitrogen and energy inputs, and (3) characterizing the most effective agroecological practices in organic vegetable production. The methodology was based on the application of semi-structured and open interviews with producers, measurements of relevant parameters to quantify productivity and the efficiency of use of irrigation water, nitrogen and energy per unit of biomass produced (kg fresh weight/m<sup>2</sup>/year), as well as a diagnosis to identify and characterize the agroecological practices considered key. The results showed that in economic terms the farms had an average benefit/cost ratio of 2.15 and that the average productivity of organic vegetables was 10.3 kg fresh weight/m<sup>2</sup>/year, ranging from 8.7 to 12.0 kg. On average, these organic production systems produced 1.8 times more than comparable conventional systems with the same unit area. Irrigation water use efficiency was determined with an average of 0.01 kg fresh weight/l water (from supplemental irrigation), with a range of 0.01 to 0.02. On average, organic production systems produced 2 times less than comparable conventional systems with the same amount of water applied. PPN as a proxy for EUN showed an average of 627 kg fresh weight/kg N applied, with a range of 435 to 910 kg. On average, organic production systems produced 2.2 times more than comparable conventional systems with the same amount of nitrogen applied. Energy use efficiency showed an average of 4.5 MJ outputs/MJ inputs, ranging from 2.9 to 6.5 MJ. On average, organic production systems produced 1.8 times more than comparable conventional systems with the same amount of energy used. Of the 12 agroecological practices identified, producers indicated that the most frequently used and of greatest importance in achieving the observed productivities were the application of bocashi and other composts, the use of mountain microorganisms ('MM'), *Bacillus* spp., *Trichoderma* and bioferments, as well as crop rotation. The average cost for agroecological practices (USD 0.24/m<sup>2</sup>/year) was 62% lower than agricultural practices on comparable conventional farms (USD 0.63/m<sup>2</sup>/year). The results of productivity, input use and characterization of agroecological practices revealed that organic vegetable production offers great potential for efficiency improvements compared to conventional production. Future work should overcome limitations of the present study to corroborate the reported advantages and identify the key factors that allow maximizing the benefits of organic production systems.

**Key words:** Agroecology, use efficiency, vegetables, productivity, sustainability.

## Introducción

La producción de alimentos a futuro debe buscar cómo combinar altos niveles de productividad, eficiencia en el uso de los insumos, calidad e inocuidad con la conservación de los recursos naturales (Ferguson y Morales 2010; Migliorini y Wezel 2017). La horticultura en Costa Rica se lleva a cabo principalmente en el Valle Central a campo abierto con un uso sumamente intensivo del suelo y la aplicación de altos niveles de fertilizantes sintéticos y plaguicidas, lo que conlleva a una degradación ambiental y riesgos graves para la salud humana (Quesada 2020). La adopción de prácticas agroecológicas y agroforestales es clave para la producción sostenible y climáticamente inteligente en el futuro (Muschler 2016; FAO 2014; FAO 2017).

Los sistemas de agricultura orgánica pueden jugar un rol central para lograr esos objetivos al mismo tiempo que pueden brindar mayores beneficios sociales y servicios ecosistémicos (Reganold y Wachter 2016; Seufert *et al.* 2012; Badgley *et al.* 2007; Gliessman y Tittonell 2015). Las siguientes secciones revisan el conocimiento documentado sobre los temas de productividad agrícola en sistemas convencionales y orgánicos, eficiencia de uso del agua de riego, nitrógeno, energía y el empleo de prácticas agroecológicas.

### *Sustentabilidad y productividad en sistemas orgánicos vs convencionales*

Para ilustrar los aportes de prácticas agroecológicas a diferentes parámetros importantes de la vida humana y de los recursos naturales, se pueden contrastar sistemas convencionales, basados en una gran dependencia de insumos químicos y energía fósil, con sistemas orgánicos que tratan de minimizar estas dependencias. El meta-análisis de Reganold y Wachter (2016), ilustró los beneficios multidimensionales generados por la producción orgánica, con excepción de una leve desventaja en productividad (entre 10 y 18%, según estos autores o alrededor de un 19%, según Ponisio *et al.* 2015), al demostrar que la producción orgánica supera el sistema convencional en los otros 11 parámetros que son indicadores importantes para la sostenibilidad del sistema a largo plazo. Claramente, hay mucho a favor de los sistemas orgánicos.

Si la principal desventaja de la producción orgánica es una productividad inferior, se deben hacer esfuerzos para aumentar su productividad. Según Barbieri *et al.* (2021), la mayor limitante para la productividad orgánica es la disponibilidad de nitrógeno. Sin duda, una aplicación cada vez más estricta y completa de los principios agroecológicos representa un camino promisorio para cumplir con la demanda mundial de comida y, a la vez, beneficiar la salud humana y ambiental. Una mayor adopción de las prácticas de rotación de cultivos, el fomento de la fijación biológica de nitrógeno en todos los sistemas productivos y el policultivo pueden aumentar la productividad orgánica de tal forma que se reduce el déficit productivo (*'yield gap'* en inglés). Este potencial real es ilustrado, por ejemplo, por los éxitos de la agricultura biointensiva y los logros de la agricultura urbana y periurbana en Cuba donde se logran productividades de 10 a 15 kg/m<sup>2</sup>/año de hortalizas orgánicas aún en suelos lateríticos. Claramente, la intensidad de manejo, la aplicación de principios agroecológicos y el uso consciente de microorganismos benéficos son clave para lograr estas productividades. Otro ejemplo ilustrativo viene de Estonia, donde zanahorias orgánicas no solamente superaban zanahorias convencionales en productividad, sino también en calidad (Bender *et al.* 2020).

### Eficiencia de uso de insumos agua de riego, nitrógeno y energía

Para la horticultura, una de las mayores preocupaciones es la escasez de agua de calidad apropiada (Snyder 2017). Muchos métodos de riego actuales son ineficaces, desperdiciando hasta más del 50% del agua aplicada (Knox *et al.* 2012). Lo mismo aplica a otros insumos como el nitrógeno y la energía en forma fósil para la mecanización y la elaboración, distribución y aplicación de agroquímicos. Con el fin de cuantificar el aprovechamiento de estos y otros insumos agrícolas se formularon relaciones entre la cantidad de un producto agrícola cosechado y la cantidad de cada uno de estos insumos utilizados, *ratios*, definidas como la eficiencia de uso de cada uno de los insumos (Mandal *et al.* 2002).

La práctica de combinar agua y nitrógeno (N) puede aumentar la capacidad de eficiencia de uso del nitrógeno (EUN; Gándara 2002). Sin embargo, la mayoría de los sistemas actuales operan a niveles de eficiencia bajos, generando productividades subóptimas, desperdiciando agua y nitrógeno. Como el suministro de agua y fertilizantes nitrogenados representa un alto costo para los agricultores, el aumento de la eficiencia de uso del agua de riego (EUAr) y EUN no solamente generaría beneficios ambientales sino, también, representaría ahorros sustanciales (Soil Association 2020; Berhongaray y Selva 2018).

La agroecología busca promover tecnologías de producción estables y de alta adaptabilidad ambiental. Para ello es necesario considerar también los aspectos sobre consumo y la eficiencia de uso de energía renovable y no renovable (Molina *et al.* 2017). El sector agrícola convencional posee una alta demanda energética dominada por el uso de combustible de origen fósil, fertilizantes sintéticos y energía eléctrica de fuentes no renovables. A nivel mundial, la agricultura genera el 10,6% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). América Latina y el Caribe proporcionan el 22,6% de las emisiones agrícolas globales (FAO 2019). Para Costa Rica, según los inventarios de GEI en 2010 y 2012, el sector agrícola aportaba entre el 21,2 y 24,1% de las emisiones totales del país (IMN 2014; IMN 2015).

A nivel mundial, la importancia de la agricultura orgánica ha aumentado fuertemente durante los últimos 30 años por la demanda creciente por productos de calidad sin pesticidas y hormonas que pudieran perjudicar la salud humana (Negrete y Guzmán 2015). Hasta el año 2017, la producción orgánica mundial utilizaba el 1,4% de las tierras agrícolas, con las mayores extensiones en Liechtenstein (30%) y Australia (21,3%) (Eguillor 2017), y con más de 2,8 millones de productores orgánicos en 181 países. Según IFOAM (2017), América Latina tiene el 15,7% del total de productores orgánicos del mundo, siendo México el país de mayor contribución, con el 46% del total.

Hasta el 2017, América Latina tenía el 11,4% de los 69,8 millones de hectáreas de tierras agrícolas bajo manejo orgánico certificado a nivel mundial, encabezado por Argentina con 3,4 millones de hectáreas de los 8 millones en la región (IFOAM 2017). Costa Rica, según el último censo orgánico del 2013, tenía alrededor de 9360 hectáreas bajo agricultura orgánica (cerca del 1,8% de las tierras dedicadas a cultivos agrícolas). De esta superficie, menos del 1% está destinada a la producción de hortalizas (PNAO 2013).

### Revolución verde

La ‘revolución verde’ permitió aumentar la productividad agrícola. Sin embargo, el uso cada vez mayor de fertilizantes sintéticos y de biocidas para controlar organismos no deseables aumentó la contaminación de las aguas y aceleró la degradación de los suelos y la biodiversidad de manera drástica (Carson 1962; Chilón 2017). Los efectos negativos de la revolución verde incluyen: el fomento de resistencias en organismos nocivos (malezas, enfermedades, plagas...), la erosión y degradación de la microflora del suelo, la pérdida de biodiversidad, tanto de cultivos como de organismos benéficos y la liberación de gases de efecto invernadero. Para enfrentar estas tendencias que amenazan la sostenibilidad, la FAO y muchos autores han hecho un llamado por una transición hacia sistemas climáticamente inteligentes, basados en fundamentos agroecológicos (Nicholls *et al.* 2015; Restrepo *et al.* 2016; FAO 2017; Dumont *et al.* 2020; Duru y Therond 2015; Gaitán *et al.* 2019; Ollivier *et al.* 2018) y agroforestales (Muschler 2016).

### Alternativas agroecológicas para la mejora de la productividad y eficiencia de uso de insumos

Altieri y Toledo (2010) ilustraron que la agroecología es un modelo estratégico dirigido a la mitigación de la degradación ambiental. Al mismo tiempo logra niveles de productividad altos a través de la implementación de técnicas efectivas como, por ejemplo, la incorporación de abonos orgánicos al suelo o de perlita fina a sustratos, aprovechar suministros locales frente a los externos, facilitar el uso de fuentes renovables y promover la prevención de problemas fitosanitarios y nutricionales en lugar de limitarse a controlarlos (Rodríguez *et al.* 2012; Argüello 2015; Céspedes y Millas 2017). Muschler (2016) ofrece una serie de recomendaciones para aprovechar los principios agroecológicos y agroforestales para poder combinar productividades altas con la protección efectiva de los recursos naturales y con acciones de adaptación y mitigación del cambio climático.

Trujillo *et al.* (2015) estableció que esas opciones incluyen policultivos basados en cultivos de origen local y domesticados de forma tradicional, así como la asociación y rotación de los cultivos. En relación a lo anterior se evitaría el uso de paquetes tecnológicos basados en fertilizantes y pesticidas sintéticos. A largo plazo, las prácticas agroecológicas proveen mayores beneficios en cuanto a la salud ambiental y humana, la estabilidad y hasta un aumento en la productividad de las fincas y un buen aprovechamiento del agua, nitrógeno y energía.

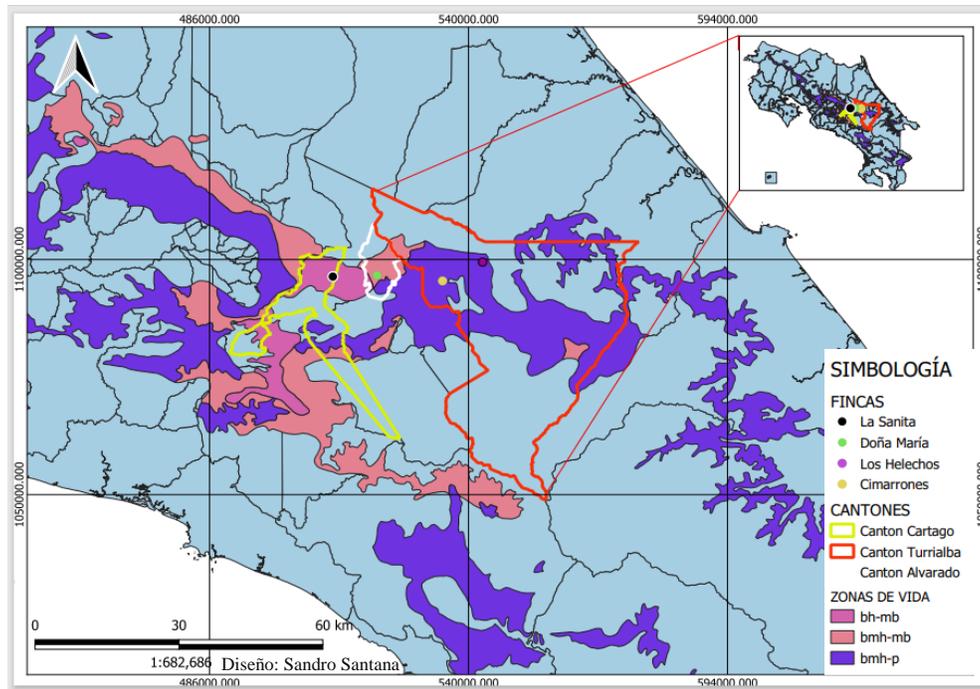
El presente estudio buscó levantar información cualitativa y cuantitativa en cuatro fincas líderes de hortalizas orgánicas para contrastarlas con fincas de producción convencional en los aspectos de productividad, eficiencia de uso de insumos y el uso y manejo de prácticas agroecológicas. Los objetivos específicos fueron evaluar la productividad, la eficiencia de uso de los insumos agua de riego, nitrógeno y energía, además de la caracterización de las principales prácticas agroecológicas en la producción de hortalizas orgánicas en fincas de pequeños productores.

## Metodología

### Ubicación y descripción de las áreas de estudio

La investigación se desarrolló en las fincas Doña María, Cimarrones, Los Helechos y La Sanita de las comunidades de Tierra Blanca, El Eslabón, Chitaría y Pacayas pertenecientes a la provincia de Cartago, Costa Rica (*Figura 1 y Cuadro 1*).

### UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS ÁREAS DE ESTUDIO



*Figura 1.* Ubicación geográfica de las áreas de estudio en la provincia de Cartago, Costa Rica

*Cuadro 1.* Información de las fincas donde se desarrolló el trabajo de campo

Finca	Cantón	Área (ha)	Tipo de suelo	Coordenada	Altitud (msnm)	Temperatura anual promedio (°C)	Precipitación (mm)
Doña María	Alvarado	0,55	Franco arcilloso	9.906860° -83.816322°	1453	16,2	3000
Cimarrones	Turrialba	0,10	Arcilloso	9.870357° -83.626461°	639	23,5	2100
Los Helechos	Turrialba	0,50	Franco arcilloso	9.922794° -83.589252°	905	21	2300
La Sanita	Cartago	0,75	Franco arcilloso	9.904322° -83.895012°	1924	17,8	3084

Fuentes: Gómez (2014); Climate-data.org (2018); Muschler (2019)

### Selección de productores, sistemas y cultivos

Este estudio incluyó cuatro fincas de productores líderes de hortalizas orgánicas bajo ambiente protegido (invernaderos), con experiencia en producción orgánica entre 15 y 20 años. La selección de los seis cultivos, reflejada en el Cuadro 2, se realizó con el acompañamiento y aprobación de los productores tomando como referencia las principales hortalizas utilizadas durante el año y sus experiencias adquiridas en el manejo de las mismas. El tamaño del área para las mediciones fue de 5 m<sup>2</sup> para cada hortaliza (*Figura 2*) (FAO 1982), y el tiempo para la evaluación de los cultivos selectos fue de 5 meses, respetando el ciclo de producción completo en cada una de las fincas estudiadas.

*Cuadro 2.* Información general de las fincas estudiadas, Cartago, Costa Rica

Nombre de la finca	Propietario	Área (ha)	Cultivos evaluados (los mismos en las 4 fincas)
Doña María, Pacayas	Marta Guillén Solano	5 ha, con certificación orgánicas (como parte de APROZONOC), con 2500 m <sup>2</sup> en hortalizas orgánicas en invernaderos y otros 3000 m <sup>2</sup> a cielo abierto (el resto corresponde a áreas de pasto)	Cebollino ( <i>Allium schoenoprasum</i> )
Cimarrones, El Eslabón	Lara Baumheier	2,1 ha con 1000 m <sup>2</sup> en hortalizas orgánicas (desde 2002) certificados, como parte de APOYA por Ecológica	Lechuga ( <i>Lactuca sativa</i> )
Los helechos, Chitaría	Floribel Cerdas	7 ha con 120 m <sup>2</sup> en hortalizas orgánicas en invernadero y 4880 m <sup>2</sup> a cielo abierto (desde 2002) certificados, como parte de APROZONOC por Ecológica	Perejil ( <i>Petroselinum crispum</i> )
La Sanita, Tierra Blanca	Sonia Gómez	2 ha con 160 m <sup>2</sup> en invernadero y 7340 m <sup>2</sup> a cielo abierto en hortalizas orgánicas	Remolacha ( <i>Beta vulgaris</i> )
			Repollo ( <i>Brassica oleracea</i> )
			Rúcula ( <i>Eruca vesicaria</i> )

Fuente: Muschler (2019)

### Mediciones

El estudio consistió en los siguientes componentes:

- La aplicación de entrevistas semiestructuradas y abiertas a productores (*Anexo 1*);
- Mediciones complementarias para determinar la productividad de los cultivos por unidad de superficie en kg de peso fresco/m<sup>2</sup>/año;
- La cuantificación de la eficiencia de uso del agua de riego, nitrógeno y energía por los diferentes cultivos en (kg de peso fresco/l agua de riego aplicado, kg de peso fresco/kg N aplicado y MJ salidas/MJ entrada) y;
- La identificación y caracterización de las prácticas agroecológicas consideradas como más importantes para lograr las productividades de las hortalizas en cada finca.

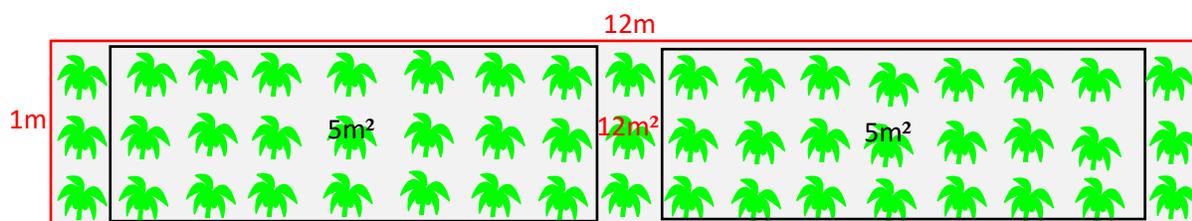


Figura 2. Diseño de la configuración de las unidades de medición de parcelas de 5 m<sup>2</sup> dentro de canteros de 12 m<sup>2</sup> (Fuente: FAO (1982))

### Recolección de datos

Los criterios para elaborar los protocolos de entrevistas se basaron en González *et al.* (2011), quienes investigaron el efecto de prácticas agrícolas en la producción de papa. Una vez elaborados los protocolos se procedió a contactar a los productores seleccionados, dos de los cuales fueron contactados de forma virtual vía Zoom y los otros dos de manera presencial entre los meses de enero y mayo del 2021, atendiendo el protocolo de salud correspondiente a la pandemia del COVID-19. Con las entrevistas y visitas de campo se levantaron los datos correspondientes a cinco meses de producción de las hortalizas evaluadas con respecto a las siguientes variables:

### Productividad

Los datos de productividad se recolectaron según las definiciones de Gliessman (2002) y FAO (1982), que establecieron parcelas rectangulares con un tamaño de 25 m<sup>2</sup> en la producción de mijo, maní y arroz. Para el presente estudio, las recomendaciones metodológicas fueron adaptadas de la siguiente forma: (a) muestreo sistemático para la ubicación de 24 parcelas rectangulares de 5 m<sup>2</sup> para el estudio completo (4 fincas evaluadas); (b) selección de una parcela de 5 m<sup>2</sup> para cada cultivo selecto en cada finca; (c) el tamaño de las parcelas se escogió debido a que la dimensión de los canteros para la producción de los 6 cultivos seleccionados en cada finca fue de 12 m<sup>2</sup> y que la variedad de cultivos en producción y el poco espacio en las fincas, dificultó establecer parcelas más grandes. Por ende, cada parcela representó el 42% del área total del cantero; (d) cosecha de los cultivos dentro de cada parcela y pesado de la biomasa fresca cosechada en kilogramos, con una balanza de resortes Taylor análoga. Las mediciones se realizaron durante un periodo de cinco meses.

Se sistematizaron datos existentes (actuales y pasados) de los años 2020-2021 sobre los rendimientos de las hortalizas por m<sup>2</sup> reportados por los productores en sus fincas. Considerando la duración total de cada cultivo, los valores de biomasa fresca cosechada de cada uno fueron transformados para poder calcular su equivalencia en la unidad meta de kg de peso fresco/m<sup>2</sup>/día para poder calcular, finalmente, la productividad anual en kg de peso fresco/m<sup>2</sup>/año.

En las mediciones realizadas se incluyeron las pérdidas de productos comerciables durante y después de cada cosecha, con el fin de garantizar que toda la biomasa producida en cada unidad muestral fuera incluida en el peso total. Lo anterior permitió obtener los kilogramos reales producidos en dichas unidades de muestreo. Otros datos recolectados fueron los costos de producción, ventas y un promedio de los precios de venta para las hortalizas evaluadas, según entrevistas con actores clave en la feria del agricultor de Turrialba (Quesada 2020).

La productividad se calculó según la siguiente ecuación (Gliessman 2002):

$$\text{Prod (kg/m}^2\text{)} = \frac{\text{PF (kg)}}{\text{AM (m}^2\text{)}}$$

Donde:

Prod = rendimiento de los cultivos

PF= peso fresco de los productos cosechados

AM = área de muestreo

Para el procesamiento y la gestión de los datos de la variable productividad se utilizó los programas Microsoft Office Excel e Infostat para generar las tablas dinámicas y las gráficas comparativas.

Las siguientes secciones ilustran la metodología de cómo se abordaron las variables estudiadas.

### *Eficiencia de uso del agua de riego, nitrógeno y energía*

Los parámetros agua de riego, nitrógeno y energía se escogieron por su relevancia para la sustentabilidad de las fincas en términos ecológicos, económicos y sociales. Para las mediciones de los tres parámetros aplicó el supuesto de que los datos recolectados, según los protocolos descritos, representan los flujos más significativos de agua de riego, nitrógeno y energía y que los agroecosistemas de los productores están en un estado de equilibrio donde las entradas tienen una equivalencia estable de salidas. Con respecto al agua, este supuesto se cumple en mayor grado en invernaderos donde la demanda por agua del cultivo se debe cubrir principalmente por aplicaciones de riego, pero no se cumple en siembras a cielo abierto en ausencia de datos de precipitación durante el periodo de cultivo.

Para el caso de N, también se supone que los sistemas están en un estado estable en el cual el suministro de N en forma de fertilizantes orgánicos, cuantificado en el presente estudio, más el suministro de N por la fijación biológica de cultivos leguminosos y fijadores de vida libre, cubre la demanda de los cultivos. Como el presente estudio no pudo cuantificar los aportes de N por fijación biológica, el cálculo de la EUN fue limitada a la relación entre el N en los cultivos cosechados y el N aportado en forma de fertilizantes.

*La eficiencia de uso del agua de riego (EUAr)* se determinó como el cociente entre el rendimiento de los cultivos en kg de peso fresco/m<sup>2</sup>/año y la cantidad de agua de riego suplementario aplicada, según la definición de Nederhoff y Stanghellini (2010) y González *et al.* (2014). Para lograr las mediciones se tomaron en cuenta la frecuencia, la cantidad de agua aplicada en cada evento de riego y la duración de aplicación durante el ciclo productivo de cada cultivo seleccionado. La cuantificación de riego se focalizó en las parcelas descritas y se midió el agua proveniente de arroyos, redes de agua potable o sistemas de cosecha de agua de lluvia aplicada con mangueras o con sistema de goteo, según cada finca.

El volumen de agua se midió con un envase de 200 mililitros (ml) en los días que se aplicó riego. Para conocer el volumen de agua de riego (AR) se procedió a colocar el envase debajo de los emisores (goteros o manguera), se tomó el tiempo transcurrido (minutos) hasta llenar el envase de 200 ml con agua de riego muestreada (ARm). La duración promedio de llenado del envase fue de

0,2 minutos con goteo y 0,06 minutos con manguera), luego se tomó el tiempo de la aplicación del agua de riego en minutos como normalmente los productores lo hacen. La duración del riego fue similar para las cuatro fincas con un rango de 5 a 30 minutos por aplicación. Utilizando una simple ecuación ( $AR_m = 5 \text{ min de riego} \times 200 \text{ ml AR} / 0,2 \text{ min}$ ) se calculó la cantidad de agua para cada riego. Finalmente, el total de agua aplicada fue transformado a litros por superficie regada durante el ciclo de cada cultivo.

Posteriormente se cuantificaron los rendimientos de los cultivos, con el propósito de determinar la eficiencia de uso del agua de riego en kg de peso fresco/l. Los parámetros del agua de precipitación, agua de flujo lateral y agua que sube del acuífero no fueron considerados en este estudio, tanto por las limitantes para el estudio como por el hecho de que las mediciones se realizaron dentro de invernaderos. Por eso solamente se consideró el agua aplicada vía riego.

La EUAr se calculó según la siguiente ecuación (Nederhoff y Stanghellini 2010):

$$EUAr \text{ (kg /l)} = \frac{PF \text{ (kg)}}{AR \text{ (l)}}$$

Donde:

EUAr = eficiencia de uso del agua utilizada para riego

PF = peso fresco de los productos cosechados

AR = agua de riego aplicada

*La eficiencia de uso del nitrógeno (EUN)* se determinó con la productividad parcial del factor nitrógeno (PPN), expresada en kg de hortalizas producidos por unidad de N aplicado, según Fixen (2010) y Dobermann (2007). Existen diferentes definiciones para la EUN; para el caso de este estudio se escogió la definición de Fixen, porque es la que mejor se adapta a las unidades de nitrógeno aplicado que fueron posible recolectar, por la cual solo se incluyó en el estudio el nitrógeno contenido en los abonos sólidos. Cabe señalar que dicha variable se eligió considerando el supuesto de que en las fincas existe un equilibrio en la fertilidad del suelo producto de 15 a 20 años de trabajo en la producción de hortalizas orgánicas. Otro supuesto a considerar es que en esta investigación se asume que los aportes adicionales de N por la fijación biológica, tanto por cultivos leguminosas como por fijadores de vida libre, permiten suministrar suficiente N para permitir que las hortalizas no estén minando N del suelo. El hecho de que las fincas tienen muchos años de producción estable apoya estos supuestos.

Para conocer el contenido de nitrógeno de los abonos se tomaron cinco submuestras representativas de 0,1 kg de composta y bocashi en cada finca. La composición de los abonos fue la misma durante el ciclo productivo de las hortalizas en todo el año. Se conformaron cuatro muestras compuestas de 0,5 kg para el análisis de laboratorio (nitrógeno por método de combustión total reportados en base seca). Una vez obtenido el porcentaje de nitrógeno se procedió a la toma de los datos de los rendimientos de las hortalizas y el volumen de abono aplicado para determinar la relación en kg de peso fresco/kg N aplicado (Matheus *et al.* 2007; García y Espinosa 2009; Fixen *et al.* 2015).

La EUN se calculó según la siguiente ecuación (Fixen 2010):

$$EUN \text{ (kg /kg N)} = \frac{PF \text{ (kg)}}{NA \text{ (kg N)}}$$

Donde:

EUN = eficiencia de uso del nitrógeno aplicado

PF = peso fresco de los productos cosechados

NA = nitrógeno aplicado a los cultivos

*La eficiencia de uso de energía (EUE) se determinó según las definiciones de Mandal et al. (2002) y Risoud (2000), al considerar la energía utilizada por cada kg de biomasa fresca cosechada, considerando: (a) cálculo de la energía directa (electricidad, combustibles fósiles e insumos agrícolas) e indirecta (trabajo humano para la extracción de las materias primas y fabricación de fertilizantes orgánicos, según Sarandón y Flores 2014); (b) los importes de los insumos y las salidas se calcularon por m<sup>2</sup>; (c) estos datos de entradas y salidas se multiplicaron por los coeficientes equivalentes a energía para obtener sus equivalencias energéticas en Mega julios (MJ); para lograr la equivalencia energética se utilizó una calculadora de conversión de unidades de energía automatizada, según Hernánz et al. (1995; Anexo 2).*

La EUE se calculó según la siguiente ecuación (Mandal et al. 2002):

$$EUE \text{ (MJ salida/MJ entrada)} = \frac{SE \text{ (MJ)}}{EE \text{ (MJ)}}$$

Donde:

EUE = eficiencia de uso de energía

SE = salidas de energía equivalente en la biomasa fresca de los productos cosechados

EE = entradas de energía directa e indirecta

Para el procesamiento y la gestión de los datos de las variables agua de riego, nitrógeno y energía se utilizó los programas Microsoft Office Excel e Infostat para generar las tablas dinámicas y las gráficas comparativas.

Cómo no fue posible incluir fincas convencionales con las mismas condiciones del presente estudio, se acudió a la revisión de la literatura para contrastar las productividades y eficiencia de uso de los insumos con datos de fincas convencionales, con el fin de conocer la diferencia entre estos dos sistemas de producción de hortalizas y si la productividad de las hortalizas orgánicas por kg/m<sup>2</sup> y la eficiencia de uso de los insumos, justificaría promover la producción orgánica como una alternativa viable y más sostenible que sistemas convencionales.

### Caracterización de prácticas agroecológicas

Para la caracterización se trabajó con los principios básicos de la agroecología, según Yong-Chou et al. (2016). El esquema para el levantamiento de datos estuvo conformado por tres etapas fundamentales: (a) la identificación y descripción de las prácticas agroecológicas más utilizadas en las fincas; (b) un diagnóstico para conocer las limitantes y potencialidades de cada una; y (c) un diseño participativo de estrategias para un mejor uso y manejo de las prácticas agroecológicas.

La información fue recolectada durante visitas de campo y entrevistas semiestructuradas y abiertas a los cuatro productores. El diagnóstico consistió en hacer una caracterización general de las fincas y de las prácticas agroecológicas más comunes y su nivel de importancia (alto, medio y bajo) asignada a cada una por los productores (Wezel *et al.* 2014).

Para la caracterización, interpretación y jerarquización de los principales problemas para el uso de las prácticas, se utilizó la matriz DAFO (debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades) la cual consiste en un análisis de la situación de una unidad productiva. El principal objetivo de aplicar esta matriz es ofrecer un claro diagnóstico para poder tomar las decisiones estratégicas oportunas y mejorar en el futuro. Dicho análisis se aplicó a partir de diálogos participativos con cada uno de los productores de manera individual. A partir de los resultados del diagnóstico se diseñó una estrategia para el buen uso de las prácticas agroecológicas.

Los datos fueron procesados por el programa Microsoft Office Excel para la obtención de tablas dinámicas y cuadros de análisis porcentuales. Además, se utilizó el método de análisis DAFO mediante la matriz de factores y la matriz de estrategias (Yong-Chou *et al.* 2016).

En la siguiente sección se detallan los hallazgos de la investigación en la cual se destacan los principales aspectos que contribuyen al buen manejo de las actividades agrícolas y sostenibilidad en términos de productividad, el uso eficiente de los insumos y el manejo de prácticas agroecológicas en la producción de hortalizas orgánicas en las fincas estudiadas.

## Resultados y discusión

### Productividad

En términos económicos se obtuvo una utilidad neta de 0,03 y 0,15 USD/m<sup>2</sup>/año en las fincas Doña María y Cimarrones y de 0,04 y 0,02 USD/m<sup>2</sup>/año en las fincas Los Helechos y La Sanita (*Cuadro 3*). La relación beneficio/costo tenía un promedio de 2,15 para las cuatro fincas, con valores de 2,0 y 2,25 en las fincas Doña María y Cimarrones, y de 2,33 y 2,0 en las fincas Los Helechos y La Sanita, respectivamente.

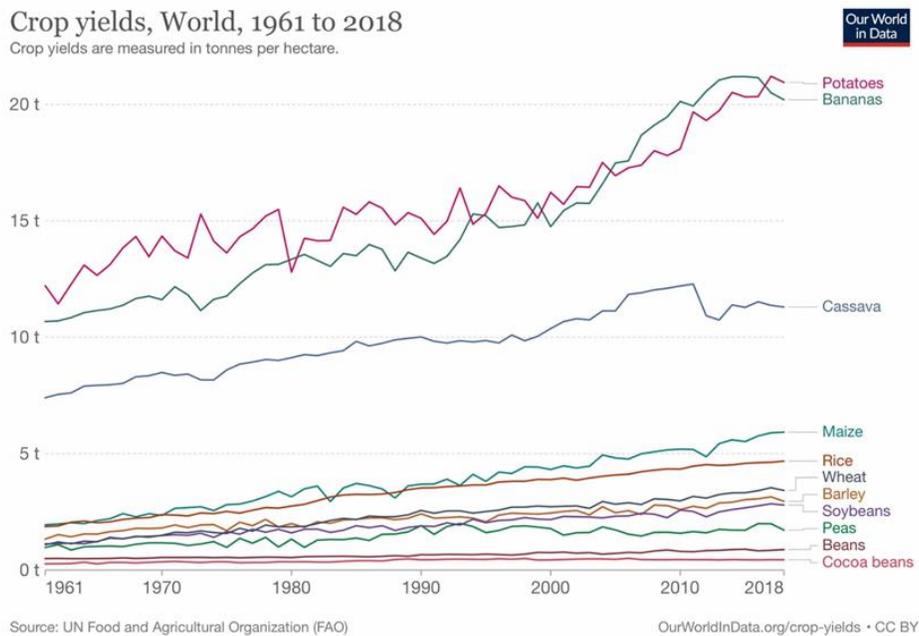
*Cuadro 3.* Análisis económico de la producción de hortalizas orgánicas (una secuencia de cebollino, lechuga, perejil, remolacha, repollo y rúcula, calculada para un periodo de cultivos de 12 meses) en las fincas evaluadas, Cartago, Costa Rica

Finca	Ventas (USD/ m <sup>2</sup> /año)	Costos (USD/ m <sup>2</sup> /año)	Utilidad neta (USD/ m <sup>2</sup> /año)	B/C (*)	Margen de ganancia (%)
Doña María	0,06	0,03	0,03	2,00	50
Los Cimarrones	0,27	0,12	0,15	2,25	56
Los Helechos	0,07	0,03	0,04	2,33	57
La Sanita	0,04	0,02	0,02	2,00	50
<b>Totales</b>	<b>0,11</b>	<b>0,26</b>	<b>0,06</b>	<b>2,15</b>	<b>53</b>

(\*) B/C: relación beneficio/costo

El rango de productividad de las hortalizas orgánicas va de un máximo de 12,0 kg en la finca Doña María a un mínimo de 8,7 kg en la finca La Sanita, con valores intermedios de 9,1 y 11,3 kg en las fincas Cimarrones y Los Helechos, respectivamente. La productividad promedio entre las cuatro fincas fue de 10,3 kg de peso fresco/m<sup>2</sup>/año.

Estas productividades se comparan muy favorablemente con la productividad promedio a nivel mundial de diferentes productos que llegan hasta 20 t/ha (= 2 kg/m<sup>2</sup>) por cosecha para cultivos como la papa y bananos (*Figura 3*). Considerando la duración de un ciclo de producción de papa de 120 a 150 días, esta productividad, ajustada a un periodo de un año, sería equivalente a unos 5 a 6 kg/m<sup>2</sup>/año. Esta comparación demuestra que las productividades documentadas en el presente estudio comprueban un alto potencial productivo de sistemas de producción orgánica, siempre y cuando estén manejados de manera intensiva bajo una aplicación sistemática de prácticas agroecológicas, como es el caso de las fincas líderes estudiadas.



*Figura 3.* Evolución de la productividad promedio a nivel mundial de diferentes cultivos entre 1961 y 2018 (fuente: FAO (2018))

En estudios similares se reportaron productividades de hortalizas orgánicas de 5,9 kg de peso fresco/m<sup>2</sup>/año en la producción periurbana en Australia (McDougall 2019), 10,4 kg en la producción de hortalizas en México (Martínez *et al.* 2019), 10,3 kg para okra, tomate, col, chile, guisantes, berenjena, calabazas y amarantos en la India (Pradeepkumar *et al.* 2017), 7,6 kg para amaranto en China (Zhuang *et al.* 2019) y 9 kg en la producción de perejil en Brasil (Costa *et al.* 2018).

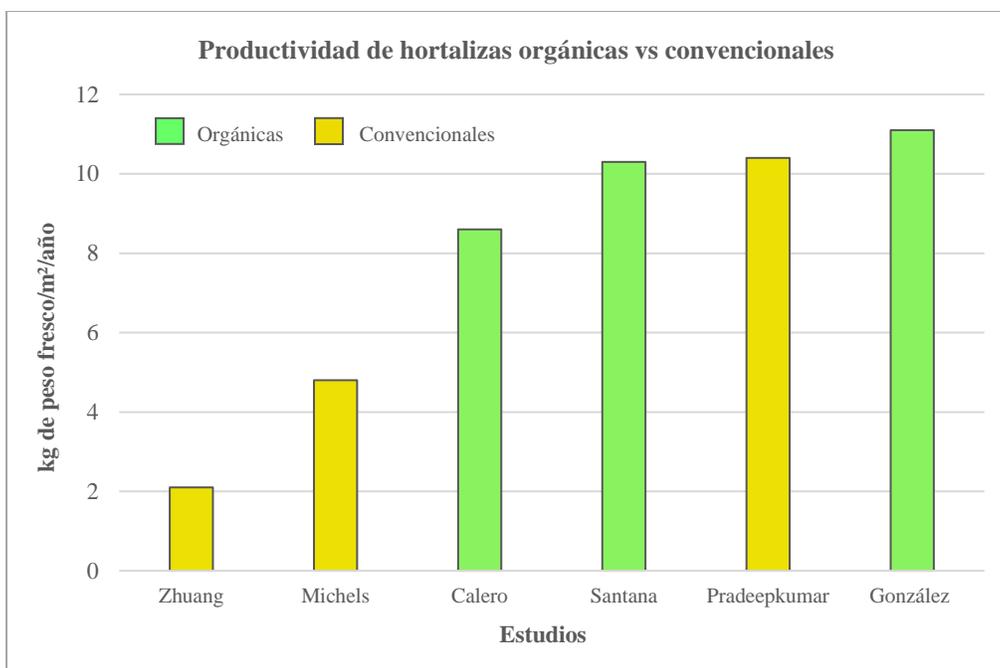


Figura 4. Productividad de hortalizas orgánicas del actual estudio en comparación con estudios similares en producción orgánica y convencional [Nota: Zhuang = Zhuang *et al.* (2019), Michels = Michels *et al.* (2020), Calero = Calero *et al.* (2019), Santana = estudio actual, Pradeepkumar = Pradeepkumar *et al.* (2017), González = González *et al.* (2008)]

La productividad promedio de las cuatro fincas en el presente estudio fue de 10,3 kg de peso fresco/m<sup>2</sup>/año, superando a la reportada en los estudios de Zhuang *et al.* (2019), Michels *et al.* (2020), Calero *et al.* (2019) que reportaron promedios de 2,1, 4,8 y 8,6 respectivamente, pero ligeramente inferior a los resultados de Pradeepkumar *et al.* (2017) y González *et al.* (2008) que reportaron promedios de 10,4 y 11,1 kg (Figura 4). Estos niveles de productividad revelan que sistemas orgánicos pueden lograr productividades similares a sistemas convencionales y hasta mayores.

Es evidente que en términos generales las cuatro fincas mostraron productividades, utilidades netas y relaciones beneficio - costo favorables, destacándose entre ellas la finca Cimarrones que arrojó mejores resultados en términos de ventas de productos frescos. Sin embargo, ocupó el tercer lugar en cuanto a los rendimientos producidos. Es probable que la baja incorporación de estiércol a los abonos orgánicos utilizados en esta finca limite el rendimiento, el cual fue inferior a las fincas Doña María y Los Helechos.

El mayor rendimiento reportado para la finca Doña María coincidió con la mayor aplicación de biofermentos derivados de frutas y microorganismos de montaña, con un total de 0,15 l/m<sup>2</sup>/año y 1,2 kg/m<sup>2</sup>/año de abonos orgánicos derivados de estiércoles de vacas, cabras y gallinas. Es posible que haya una causalidad entre estos dos parámetros. La finca Los Helechos fue la que siguió en rendimiento. La finca con el rendimiento más bajo fue La Sanita, situada a mayor altura de las cuatro. Posiblemente, las temperaturas más bajas pueden haber limitado la productividad en contraste con las otras fincas.

## Eficiencia de uso del agua de riego, nitrógeno y energía

### *La eficiencia de uso del agua de riego (EUAr)*

El Cuadro 4 muestra la relación entre la productividad y la cantidad de agua de riego aplicada. El rango de aplicaciones va de un máximo de 1425 l/m<sup>2</sup>/año en la finca Cimarrones, a un mínimo de 500 l en la finca Doña María, con valores intermedios de 567 y 941 l en las fincas Los Helechos y La Sanita, respectivamente. Las EUAr de las fincas Doña María y Los Helechos fueron de 0,02 kg de peso fresco/l, mientras que en las fincas Cimarrones y La Sanita fueron 0,01 kg de peso fresco/l. La eficiencia promedio entre las cuatro fincas fue de 0,01 kg de peso fresco/l.

*Cuadro 4.* Productividad (kg de peso fresco/m<sup>2</sup>/año), suministro de agua de riego (l/m<sup>2</sup>/año) y eficiencia de uso del agua de riego (kg de peso fresco/l) de las fincas orgánicas evaluadas, Cartago, costa Rica

Finca	Productividad (kg peso de fresco/m <sup>2</sup> /año)	Aplicación de agua de riego (l/m <sup>2</sup> /año)	EUAr (kg de peso fresco/l)
Doña María	12,0	500	0,02
Cimarrones	9,1	1425	0,01
Los Helechos	11,3	567	0,02
La Sanita	8,7	941	0,01
<b>Promedio</b>	<b>10,3</b>	<b>858,3</b>	<b>0,01</b>

En estudios similares relacionados a la eficiencia de uso del agua en la producción de hortalizas orgánicas, se lograron resultados de 0,003 kg por cada litro de agua aplicado en la producción de chile serrano en México (Jiménez *et al.* 2021). Las diferencias que se observan entre los kg de productos frescos por cada litro de agua de riego aplicado vía goteo y con mangueras en la producción de las hortalizas, es influenciada por el nivel de frecuencia y volumen de agua de riego aplicado por los productores.

La finca Dona María es la que aplica menos riego; la productora indicó que se debe a que durante gran parte del año la temperatura en la zona es relativamente baja contribuyendo a que dentro del invernadero la humedad se mantenga por más tiempo. Esto permite aplicaciones de riego más cortas y de menor volumen para la producción anual, comparativamente con regiones más calientes. En la finca Cimarrones se obtuvo la mayor aplicación de agua porque, a diferencia de las otras fincas, la temperatura en la zona es más alta y la producción se da bajo un techo abierto sin paredes, lo cual aumenta las pérdidas de agua por evapotranspiración en comparación con los invernaderos cerrados de las otras tres fincas.

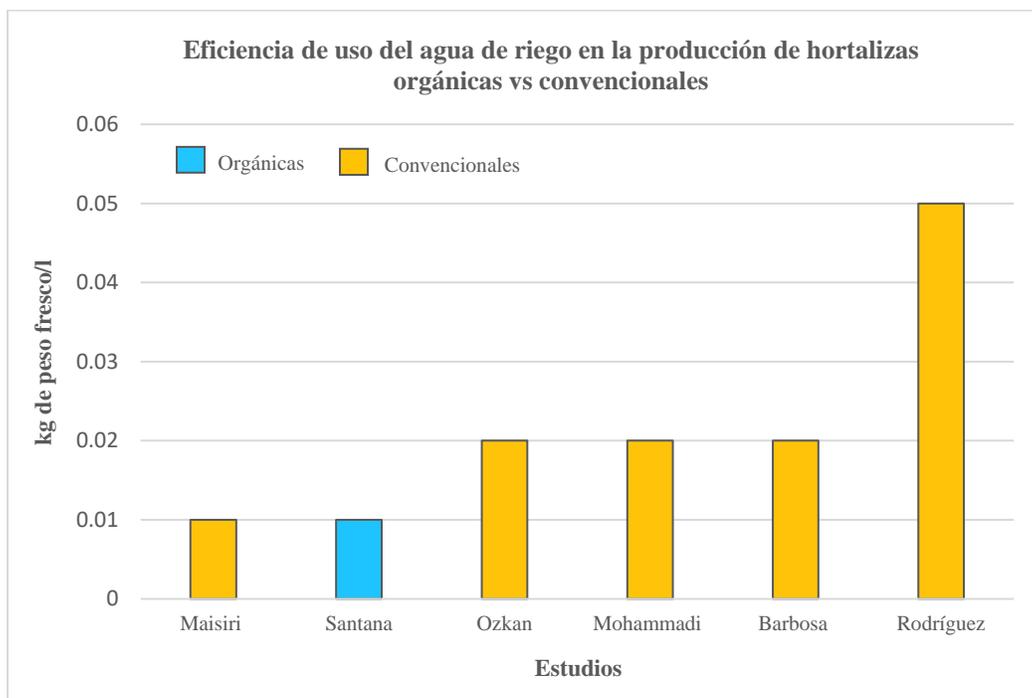


Figura 5. Eficiencia de uso del agua de riego en la producción de hortalizas orgánicas del actual estudio en comparación con estudios similares en producción convencional [Nota: Maisiri = Maisiri *et al.* (2005), Santana = estudio actual, Ozkan = Ozkan *et al.* (2004), Mohammadi = Mohammadi y Omid (2010), Barbosa = Barbosa *et al.* (2015), Rodríguez = Rodríguez *et al.* (2020)]

El promedio de las cuatro fincas (0,01 kg de peso fresco/l de agua de riego), fue igual al resultado de Maisiri *et al.* (2005) y el de Assefa *et al.* (2019) en la producción convencional de ajo, cebolla, tomate, col y batata en África. Sin embargo, también hay reportes de EUAr que superan estos valores por un factor de 2 (Ozkan *et al.* 2004; Mohammadi y Omid 2010; Barbosa *et al.* 2015) hasta 5 (Rodríguez *et al.* 2020), con reportes promedio de 0,02, 0,02, 0,02, 0,05 kg/l, respectivamente (Figura 5).

#### La eficiencia de uso del nitrógeno (EUN)

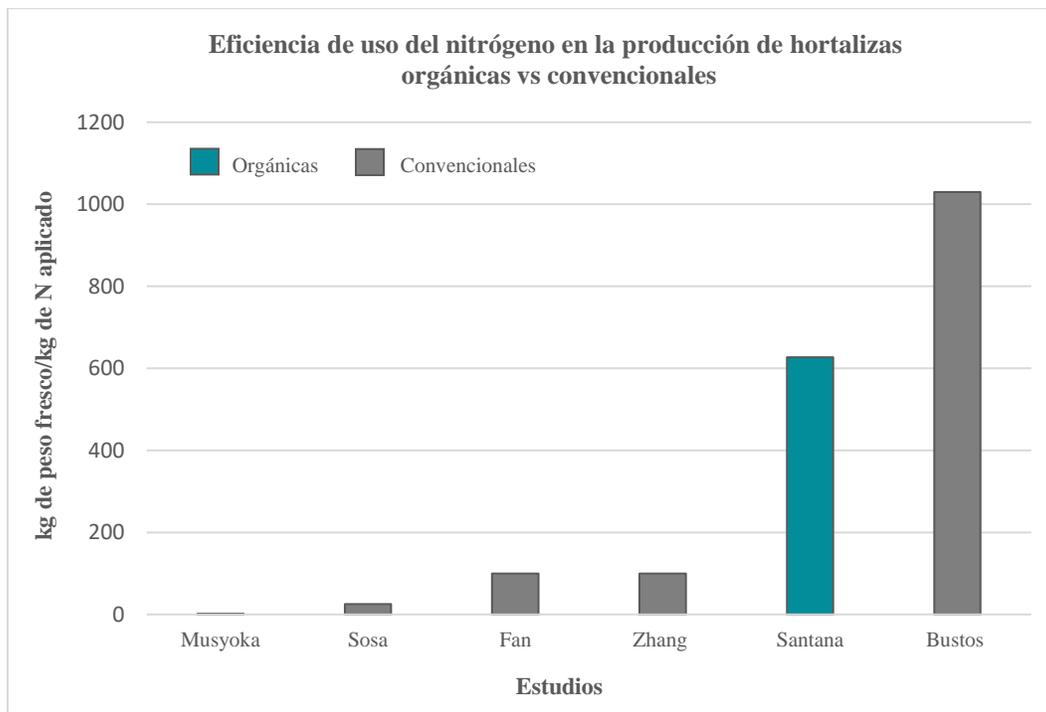
En el Cuadro 5 se refleja la cantidad de composta aplicado en la producción de hortalizas orgánicas. El rango de aplicaciones va de un máximo de 1,5 kg/m<sup>2</sup>/año en Los Helechos a un mínimo de 0,6 kg en la finca Cimarrones, con valores intermedios de 1,2 a 1,4 en las fincas Doña María y La Sanita, respectivamente. Estos valores son ligeramente superiores a la aplicación de 0,5 kg/m<sup>2</sup>/año de composta para la producción de pepino orgánico en Colombia (Calero *et al.* 2019) y de 1 kg/m<sup>2</sup>/año de zeolita para la producción de tomate en Cuba (González *et al.* 2008). El rango de aplicación de nitrógeno va de un máximo de 0,02 kg/m<sup>2</sup>/año en las fincas Doña María, Los Helechos y La Sanita a un mínimo de 0,01 kg/m<sup>2</sup>/año en la finca Cimarrones, para un promedio entre las cuatro fincas de 0,02 kg/m<sup>2</sup>/año. Estos valores corresponden a aplicaciones de aproximadamente 100 a 200 kg/ha de nitrógeno en forma de materia orgánica.

**Cuadro 5.** Productividad, aplicación anual de composta y de nitrógeno y eficiencia de uso del mismo (kg de peso fresco/kg N aplicado), de las fincas orgánicas evaluadas, Cartago, Costa Rica

Finca	Productividad (kg de peso fresco/m <sup>2</sup> /año)	Composta aplicada (kg/m <sup>2</sup> /año)	Nitrógeno aplicado (kg N/m <sup>2</sup> /año)	EUN (kg de peso fresco/ kg N)
Doña María	12	1,2	0,02	600
Cimarrones	9,1	0,6	0,01	910
Los Helechos	11,3	1,5	0,02	565
La Sanita	8,7	1,4	0,02	435
<b>Promedio</b>	<b>10,3</b>	<b>1,2</b>	<b>0,02</b>	<b>627</b>

En estudios similares sobre la aplicación de nitrógeno de origen orgánico en la producción de hortalizas se reportaron aplicaciones de 0,06 kg N/m<sup>2</sup>/año para la producción de pimiento dulce, tomate y lechuga en Italia (Benincasa *et al.* 2011) y para la producción de col, maíz y papa en Kenya (Musyoka 2017), obteniendo una EUN de hasta 0,06 kg N/m<sup>2</sup>/año. Los estudios de Ciampitti y García (2007), Salazar (2002), Rincón *et al.* (1995) y Jones *et al.* (2007) reportaron que el requerimiento de nitrógeno para tomate es de alrededor 0,003 kg N para producir 1 kg de producto fresco.

El promedio de la PPN para las cuatro fincas orgánicas de este estudio fue 627 kg de producto en peso fresco por kg de N aplicado, con un rango de 435 en la finca La Sanita hasta 910 en la finca Cimarrones. Los valores de las fincas Doña María y Los Helechos fueron intermedios (*Cuadro 5*).



**Figura 6.** Eficiencia de uso del nitrógeno en la producción de hortalizas orgánicas del actual estudio en comparación con estudios similares en producción convencional [Nota: Musyoka = Musyoka *et al.* (2017), Sosa = Sosa *et al.* (2018), Fan = Fan *et al.* (2014), Zhang =Zhang (2015), Santana = estudio actual, Bustos = Bustos y Guapizaca (2018)]

Como fue explicado en la metodología, la productividad parcial de nitrógeno (PPN, *Figura 6*), es un parámetro que se puede utilizar como *proxi* para la EUN cuando no existen todos los datos de los diferentes flujos de N que se requieren para calcular la EUN. El promedio de la PPN de las cuatro fincas del presente estudio fue de 627 kg de peso fresco/kg N aplicado, ubicándose entre un valor extremadamente alto de 1030 kg de peso fresco/kg N aplicado reportado por Bustos y Guapizaca (2018) y un gran número de estudios con valores inferiores a 100 kg para la producción convencional de hortalizas (Musyoka *et al.* 2017; Sosa *et al.* 2018; Fan *et al.* 2014; Zhang 2015) y para la producción de maíz, trigo y soja convencionales con PPN de 70 y 102 reportados por Fixen (2010) y Dobermann (2007), respectivamente.

Con excepción del estudio de Bustos y Guapizaca (2018), el cual posiblemente corresponde a una sobreestimación de la PPN debido a que solo se midió un solo flujo de N en la producción de hortalizas en los sistemas convencionales evaluados, los valores del presente estudio indican que los sistemas orgánicos estudiados produjeron al menos 2,2 veces más con la misma cantidad de nitrógeno aplicado. La mayor EUN en las fincas orgánicas ilustra claramente el potencial de reducir la dependencia de fertilizantes sintéticos de N al transformar sistemas convencionales a sistemas de producción orgánica. Es importante de corroborar este resultado con estudios futuros que permiten cuantificar todos los flujos de N en los sistemas.

#### *La eficiencia de uso de energía (EUE)*

Los insumos físicos de entradas y salidas, los equivalentes totales de energía y la eficiencia energética en la producción de hortalizas orgánicas se muestran en los Cuadros 6 y 7. Las fincas Doña María y Cimarrones requieren un consumo de 0,11 y 0,38 kWh de energía eléctrica por m<sup>2</sup>/año respectivamente, 0,03 y 0,02 litros de gasolina, 0,02 y 0,01 kg de nitrógeno de fuente orgánica y 1,19 y 2,30 horas de trabajo humano. Los resultados mostraron que el mayor aporte de energía fue proporcionado por el trabajo humano, seguido de la gasolina, nitrógeno y, en menor grado, la energía eléctrica. La eficiencia de uso de energías (relación energética) en estas dos fincas fue de 4,5 y 2,9 MJ producido en productos frescos por cada MJ invertido en las fincas, respectivamente (*Cuadro 6*).

*Cuadro 6.* Cantidades de insumos entradas, salidas (kg de peso fresco/m<sup>2</sup>/año), equivalentes energéticos totales y eficiencia energética de las fincas Doña María y Cimarrones, Cartago, Costa Rica

	DOÑA MARÍA			CIMARRONES		
	Cantidad /m <sup>2</sup> /año	Energía total equivalente (MJ)	% del total entrada de energía	Cantidad /m <sup>2</sup> /año	Energía total equivalente (MJ)	% del total entrada de energía
<b>Entradas</b>						
Electricidad (kWh)	0,11	0,40	6,23	0,38	0,25	3,32
Gasolina (litro)	0,03	1,69	26,62	0,02	1,79	23,77
Nitrógeno de fuentes orgánicas (kg)	0,02	1,95	30,58	0,01	0,96	12,78
Trabajo humano (h)	1,19	2,33	36,57	2,30	4,51	60,13
<b>Totales salidas</b>		<b>6,36</b>	<b>100</b>		<b>7,52</b>	<b>100</b>
Rendimiento (kg)	12,0	28,8		9,1	21,7	
EUE: (MJ salidas/MJ entradas)		<b>4,5</b>			<b>2,9</b>	

MJ: Mega julios

En las fincas Los Helechos y La Sanita se documentaron entradas de 0,12 y 0,11 kWh de energía eléctrica por m<sup>2</sup>/año, respectivamente, así como 0,03 y 0,00 litros de gasolina, 0,02 y 0,02 kg de nitrógeno de fuente orgánica y 1,31 y 0,38 horas de trabajo humano. Los resultados mostraron que el mayor aporte de energía fue proporcionado por el trabajo humano, seguido de la gasolina, nitrógeno y la energía eléctrica, en menor cantidad (*Cuadro 7*).

*Cuadro 7.* Cantidades de insumos entradas, salidas (kg de peso fresco/m<sup>2</sup>/año), equivalentes energéticos totales y eficiencia energética de las fincas Los Helechos y La Sanita, Cartago, Costa Rica

	LOS HELECHOS			LA SANITA		
	Cantidad /m <sup>2</sup> /año	Energía total equivalente (MJ)	% del total entrada de energía	Cantidad /m <sup>2</sup> /año	Energía total equivalente (MJ)	% del total entrada de energía
<b>Entrada</b>						
Electricidad (kWh)	0,12	0,43	6,27	0,11	0,51	15,92
Gasolina (litro)	0,03	1,96	28,43	0,00	0,00	0,00
Nitrógeno de fuentes orgánicas (kg)	0,02	1,94	28,19	0,02	1,95	60,64
Trabajo humano (h)	1,31	2,56	37,12	0,38	0,75	23,44
<b>Totales salidas</b>		<b>6,89</b>	<b>100</b>		<b>3,21</b>	<b>100</b>
Rendimiento (kg)	11,3	27,8		8,7	20,9	
EUE: (MJ salidas/MJ entradas)		<b>4,0</b>			<b>6,5</b>	

La eficiencia energética (relación energética) de las fincas Los Helechos y La Sanita fue de 4,0 y 6,5 MJ producido por cada MJ invertido en las fincas, respectivamente. La eficiencia energética promedio entre las cuatro fincas fue de 4,5 MJ, lo que demuestra que las mismas son altamente eficientes. La variabilidad de la eficiencia entre las cuatro fincas se puede explicar por la frecuencia y cantidad de los insumos (entradas) utilizados. Estudios similares realizados para determinar la eficiencia de uso de energía en sistemas orgánicos reportaron 1,72 para la producción de hortalizas en la India (Paramesh *et al.* 2019), 1,09 para la producción de lechuga en Arizona (Barbosa *et al.* 2015), 6,41 para la producción de trigo en Holanda (Risoud 1999), 2,0 para la producción de

verduras en España (Alonso y Guzmán 2010) y 1,2 para la producción de manzanas en Washington (Reganold *et al.* 2001).

A pesar de que la mayoría de los insumos utilizados en las fincas son de origen orgánico o renovables, se tiene que continuar con la disminución de los combustibles fósiles (sobre todo gasolina), para continuar la transición hacia una producción carbono-neutral.

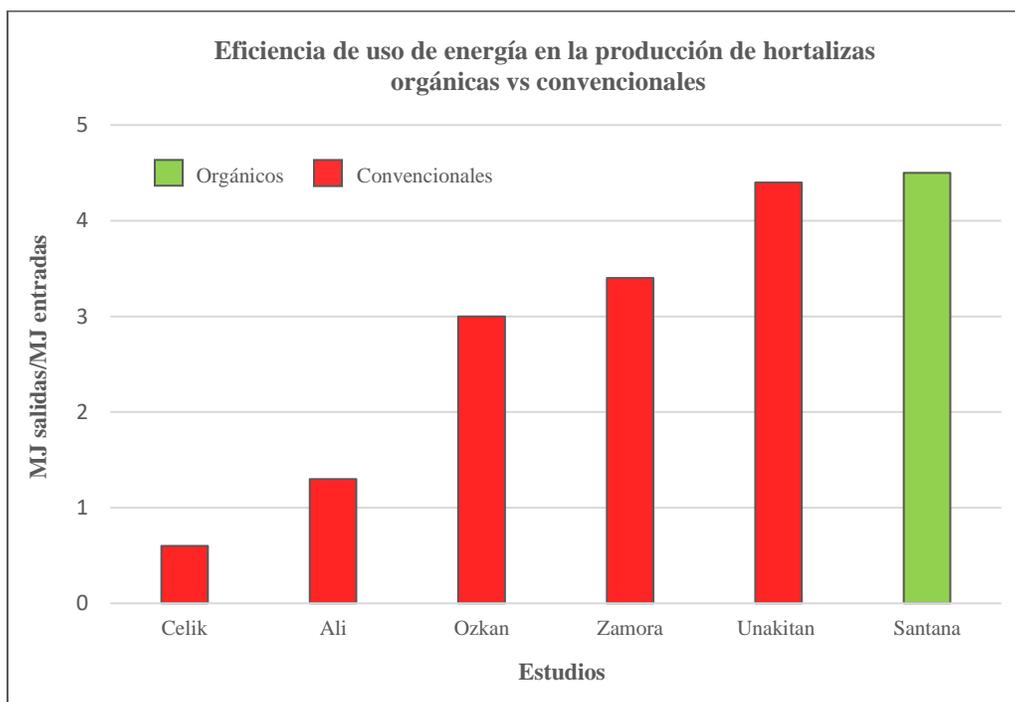


Figura 7. Eficiencia de uso de energía en la producción de hortalizas orgánicas del actual estudio en comparación con estudios similares en producción convencional [Nota: Celik = Celik *et al.* (2010), Ali = Ali y Omid (2010), Ozkan = Ozkan *et al.* (2004), Zamora = Zamora *et al.* (2015), Unakitan = (Unakitan *et al.* 2010), Santana = estudio actual]

La EUE promedio de las cuatro fincas fue de 4,5 MJ salidas/MJ entradas y el rango de 2,9 a 6,5 se ubican en el reportado para la producción convencional de hortalizas por Celik *et al.* (2010), Ali y Omid (2010), Ozkan *et al.* (2004), Zamora (2015) y Unakitan *et al.* (2010) con promedios de 0,6, 1,3, 3, 3,4 y 4,4, respectivamente (Figura 7). Para los productores, la EUE puede ser un parámetro valioso de evaluación ya que perciben directamente cuanta energía utilizan versus lo cosechado.

Las EUE del actual estudio ilustran el potencial de los sistemas orgánicos para igualar y hasta superar los sistemas convencionales en términos del uso eficiente de energía. Otros estudios de producción convencional mostraron eficiencias de 0,06 y 0,8 para la producción de melocotón y cereza en Turquía (Aydın y Aktürk 2018), 0,8 a 1 para la producción de naranja y mandarina en Irán (Namdari *et al.* 2011) y 2,2 para la producción de arroz en Irán (Alipour *et al.* 2012). Es evidente que las EUE favorables del actual estudio aventajan a la mayoría de los estudios de producción convencional descritos, reflejando que la utilización de agroquímicos sintéticos es nula y la utilización de combustibles fósiles es mucho menor que en la mayoría de los sistemas de producción convencional.

Caracterización de prácticas agroecológicas

Cuadro 8. Caracterización de prácticas agroecológicas, frecuencia, volumen o áreas trabajadas e importancia para la productividad por m<sup>2</sup>/año en la producción de 6 hortalizas orgánicas (remolacha, repollo, cebollino, lechuga, perejil y rúcula) de las fincas evaluadas, Cartago, Costa Rica

Fincas orgánicas	Tipos de prácticas	Frecuencia de uso	volumen aplicado o área trabajada	Nivel de importancia para la productividad	
<b>Doña María</b>	Aplicación de abono bocashi	2 aplicaciones / mes; 24 / año	189 kg / mes; 2268 kg / año	Alto	
	Aplicación de composta	2 aplicación / mes; 24 / año	0,5 kg / mes; 6 kg / año	Alto	
	Aplicación de microorganismos MM	2 aplicaciones / mes; 24 / año	66.66 litros / mes; 800 litros / año	Alto	
	Aplicación de <i>Trichoderma</i>	1 aplicación / mes; 12 / año	1,25 kg / mes; 15 kg / año	Alto	
	Biofermentos	2 aplicaciones / mes; 24 / año	66.66 litros / mes; 800 litros / año	Medio	
	Cosecha de agua	1 cosecha / mes; 12 / año	20000 litros cada 3 meses; 80000 litros / año	Medio	
	Rotación de cultivos	1 cada 3 meses; 4 / año	22000 m <sup>2</sup> / año	Alto	
	Deshierbas manuales	2 / mes; 24 / año	62000 m <sup>2</sup> / año	Medio	
	<b>Cimarrones</b>	Aplicación de composta	1 aplicación cada 3 meses; 4 / año	50,41 kg / mes; 605 kg / año	Alto
		Aplicación de microorganismos MM	10 aplicaciones / mes; 120 / año	20 litros / mes; 240 litros / año	Alto
Aplicación de <i>Trichoderma</i>		1 aplicación / mes; 12 / año	0,41 kg / mes; 5 kg / año	Alto	
Biofermentos		1 aplicación cada 8 días; 46 / año	2,4 litros / mes; 29 litros / año	Medio	
Cosecha de agua		1 cosecha cada 3 meses; 4 / año	700 litros / mes; 8400 litros / año	Medio	
Rotación de cultivos		1 cada 3 meses; 4 / año	4000 m <sup>2</sup> / año	Alto	
Deshierbas manuales		2 / mes; 24 / año	12000 m <sup>2</sup> / año	Medio	
Curva de nivel		1 / año	500 m <sup>2</sup> / año	Bajo	
Barreras para erosión		1 / año	200 m <sup>2</sup> / año	Bajo	

**Cuadro 8. Continuación**

<b>Los helechos</b>	Aplicación de composta	2 aplicaciones / mes; 24 / año	541 kg / mes; 6492 kg / año	Alto
	Aplicación de microorganismos MM	2 aplicaciones / mes; 24 / año	33 litros / mes; 396 litros / año	Alto
	Biofermentos	2 aplicaciones / mes; 24 / año	1,90 litros / mes; 23 litros / año	Medio
	Cosecha de agua	1 cosecha cada 3 meses; 4 / año	10000 litros cada 3 meses; 40000 litros / año	Medio
	Rotación de cultivos	1 cada 3 meses; 4 / año	20000 m <sup>2</sup> / año	Alto
	Deshierbas manuales	2 / mes; 24 / año	60000 m <sup>2</sup> / año	Medio
	Cobertura del suelo con maleza y mulch cascarilla de café	1 / mes; 12 / año	3000 kg / año	Medio
	Manejo del agua de escorrentía y canales de guardia	1 / año	100 m <sup>2</sup> / año	Bajo
<b>La Sanita</b>	Aplicación de bocashi	2 aplicaciones / mes; 24 / año	568 kg / mes; 6816 kg / año	Alto
	Aplicación de composta	2 aplicaciones / mes; 24 / año	800 kg / mes; 9600 kg / año	Alto
	Aplicación de microorganismos MM	2 aplicaciones / mes; 24 / año	87 litros / mes; 1044 litros / año	Alto
	Aplicación de <i>Bacillus</i> spp y <i>Trichoderma</i>	1 aplicación cada 3 meses; 4 / año	2,5 kg / mes; 30 kg / año	Alto
	Biofermentos	4 aplicaciones / mes; 48 / año	12,5 litros / mes; 150 litros / año	Medio
	Cosecha de agua	1 cosecha cada 3 meses; 4 / año	15000 litros cada 3 meses; 60000 litros / año	Medio
	Rotación de cultivos	1 cada 3 meses; 4 / año	28000 m <sup>2</sup> / año	Alto
	Deshierbas manuales	2 / mes; 24 / año	84000 m <sup>2</sup> / año	Medio
	Cobertura del suelo con maleza	1 cada 6 meses; 2 / año	4000 kg / año	Medio
	Manejo del agua de escorrentía y canales de guardia	1 / año	200 m <sup>2</sup> / año	Bajo

El diagnóstico permitió conocer las 12 principales prácticas agroecológicas utilizadas por los productores. Uno de ellos utiliza el 100% de las prácticas y los demás utilizan entre el 70-80%. Todos los productores indicaron que las prácticas agroecológicas utilizadas con mayor frecuencia y de mayor importancia fueron:

1. la aplicación de bocashi y otras compostas,
2. la utilización de biofermentos,
3. el uso de microorganismos de montaña (MM),
4. la aplicación de *Bacillus* ssp y *Trichoderma*, además de
5. la rotación de cultivos.

Según Yong-Chou *et al.* (2016), el 90% de los productores entrevistados en Costa Rica se refirieron a que la forma más frecuente de utilización de prácticas agroecológicas era la producción de abonos orgánicos y la utilización de humos de lombriz. Igualmente, Marine *et al.* (2016), establecieron que la mayoría de los productores (60 %) aplicaron estiércol, composta o bio-sólidos y Nyaga *et al.* (2015) señalaron que el 75% de los agricultores utilizaban el estiércol de vaca como fuente de fertilización orgánica para sus cultivos de cebollino, lechuga, perejil remolacha, repollo y rúcula. Estos ejemplos evidencian que los abonos orgánicos siguen siendo una de las principales prácticas agroecológicas utilizadas en los diferentes sistemas de producción orgánica.

De acuerdo con Sans *et al.* (2013), Wezel *et al.* (2014) y Dinis *et al.* (2014), la producción ecológica utiliza un conjunto de prácticas con el propósito de disminuir los efectos nocivos sobre el entorno, prolongar la fertilidad del suelo e incrementar el uso de recursos de las fincas. Típicamente, el manejo ecológico se caracteriza por prohibir el uso de agroquímicos y tener una fertilización basada en la aplicación de materia orgánica.

**Uso de abonos orgánicos.** La frecuencia de usar abonos orgánicos es relativamente similar entre la mayoría de las fincas, donde se ejecutan dos aplicaciones cada mes con volúmenes que van desde los 0,6 a 1,5 kg/m<sup>2</sup>/año aproximadamente. Esta diferencia en volumen se ve influenciada por la dimensión de las fincas, el tamaño de la producción y la disponibilidad de material vegetativo y estiércoles como materia prima para los abonos orgánicos. Los residuos vegetativos producidos por diversas actividades en la finca son insumos importantes para la producción de abonos orgánicos dada la necesidad de aumentar la productividad de los cultivos agrícolas (Ramos y Terry 2014).

**Microorganismos de montaña (MM).** En cuanto a la aplicación de microorganismos de montaña, la frecuencia de uso va de 1 a 2 aplicaciones por mes, con volúmenes de 0,01 a 0,1 l/m<sup>2</sup>/año para todas las fincas y una aplicación de microorganismos antagonistas cada 3 meses, con volúmenes de 0,01 a 0,02 kg/m<sup>2</sup>/año. Una excepción a este patrón es la finca Cimarrones, la cual realiza 10 aplicaciones de MM por mes. Los materiales utilizados por los productores para activar los MM en fase líquida son: 1 recipiente de plástico con tapa, 2 kg de MM sólido, ½ galón de melaza, 1 saco limpio como colador y 50 litros de agua sin cloro. El procedimiento para la elaboración consiste en colocar en el recipiente el agua y la melaza, colocar en el saco el MM sólido y ponerlo en el recipiente plástico; se mantiene el recipiente bajo sombra una semana, antes de usar el producto. El agua irá tomando el color y olor a fermentado. El producto líquido tiene una duración

de hasta dos meses, si el recipiente se mantiene tapado y a la sombra. Por limitantes del presente estudio, no fue posible analizar las poblaciones microbiales en los productos de MM.

**Cosecha de agua.** Los cuatro productores indicaron que utilizan superficies y tanques para la cosecha de agua para el riego de las hortalizas. Para las fincas Cimarrones, Los Helechos y La Sanita se estimaron volúmenes totales entre 8400 y hasta más de 60000 l/año. Para la finca Doña María se cosecha un volumen total de 80000 litros por año.

**Rotación de cultivos.** La rotación de cultivos es similar entre las cuatro fincas y se efectúa 1 vez cada 2 a 3 meses, pero con diferencias entre las áreas intervenidas que van desde los 4000 a 28000 m<sup>2</sup> por año. Los entrevistados comentaron que la rotación depende de la demanda del mercado y de los cultivos priorizados en la planificación de producción anual. Las rotaciones más cortas aplican a cultivos como lechuga y rúcula.

**Deshierbas y manejo de cobertura de suelo.** Los productores realizan típicamente 2 deshierbas por mes en cada finca, con diferencias en el área trabajada desde 12000 m<sup>2</sup>/año en la finca Cimarrones a 84000 m<sup>2</sup> en la finca La Sanita, y áreas de 60000 m<sup>2</sup> y 62000 m<sup>2</sup> en las fincas Los Helechos y Doña María, respectivamente. Cabe resaltar que esas superficies trabajadas se obtuvieron de la sumatoria de la cantidad de trabajo realizado en cada finca durante el año. Las fincas Los Helechos y La Sanita fueron las únicas que aprovechan las malezas arrancadas o cortadas para cubrir el suelo. En la finca Los Helechos se aplicaron unos 3000 kg/año mensualmente en una superficie de 5000 m<sup>2</sup> y en la finca La Sanita unos 4000 kg/año semestralmente en una superficie de 7500 m<sup>2</sup>.

**Manejo del agua de escorrentía y canales de guardia.** Las fincas Los helechos y La Sanita realizan manejo del agua de escorrentía y canales de guardia, con áreas de 100 a 200 m<sup>2</sup>/año, respectivamente. Las fincas Cimarrones y Doña María no realizan cobertura de suelo con malezas ni manejo del agua de escorrentía y canales de guardia, pero sí mencionaron que utilizan las malezas para producir composta.

**Curvas de nivel.** En el caso de la finca Cimarrones, el productor indicó que realiza curvas de nivel 1 vez al año para el establecimiento de las hortalizas, con un área de 500 m<sup>2</sup>/año. Además, construyen barreras muertas para el control de erosión 1 vez al año, con un área de 200 m<sup>2</sup>/año. Las otras fincas no utilizaron estas últimas dos prácticas.

**Importancia asignada a las diferentes prácticas.** El diagnóstico también mostró la percepción de los entrevistados sobre los niveles de importancia que ellos les adjudican a las prácticas agroecológicas para la productividad de las hortalizas. Los cuatro productores asignaron los niveles de importancia más altos a la aplicación de abonos bocashi y otras compostas, el empleo de microorganismos MM, el uso de microorganismos antagonicos y la rotación de cultivos. Además, los productores asignaron una importancia intermedia a la cosecha de agua, deshierbas manuales, aplicación de biofermentos y la cobertura de suelo con malezas. Las prácticas consideradas de relativamente baja importancia fueron curvas de nivel, la construcción de barreras contra la erosión, el manejo del agua de escorrentía y canales de guardia.

Según Wezel *et al.* (2014) en la agricultura convencional europea, las prácticas agroecológicas de importancia media incluyeron: abonos orgánicos, el control biológico, el riego y la labranza mínima. Las prácticas de rotación de cultivos, biofertilizantes y control de malezas fueron percibidas de baja importancia. Aparentemente, no se identificaron prácticas agroecológicas de alta importancia, probablemente por el hecho de que los productores practicaban agricultura convencional. Al contrastar esos resultados con los del actual estudio, se demuestra que el nivel de importancia de las principales prácticas agroecológicas es altamente valorado por los productores a diferencia de las prácticas convencionales que están en proceso de cambio hacia una agricultura más ecológica (Duru y Therond 2015). Estas afirmaciones pueden estar justificadas por la falta de conocimiento y resistencia al cambio hacia nuevas tecnologías de aplicación agroecológica, como lo indican Gliessman *et al.* (2007) y Caporal *et al.* (2009).

Los agricultores entrevistados indicaron que en sus fincas el ciclo de producción y la sucesión entre las hortalizas se distribuye de acuerdo a las estaciones del año haciendo énfasis en que, en la estación seca la producción está basada en las hortalizas que mejor prosperan en condiciones de sequía, por ejemplo, el repollo, remolacha, cebollino y perejil. Durante la época lluviosa los productores elijen la lechuga, rúcula y otras con características similares, porque soportan niveles de humedad moderadamente altos.

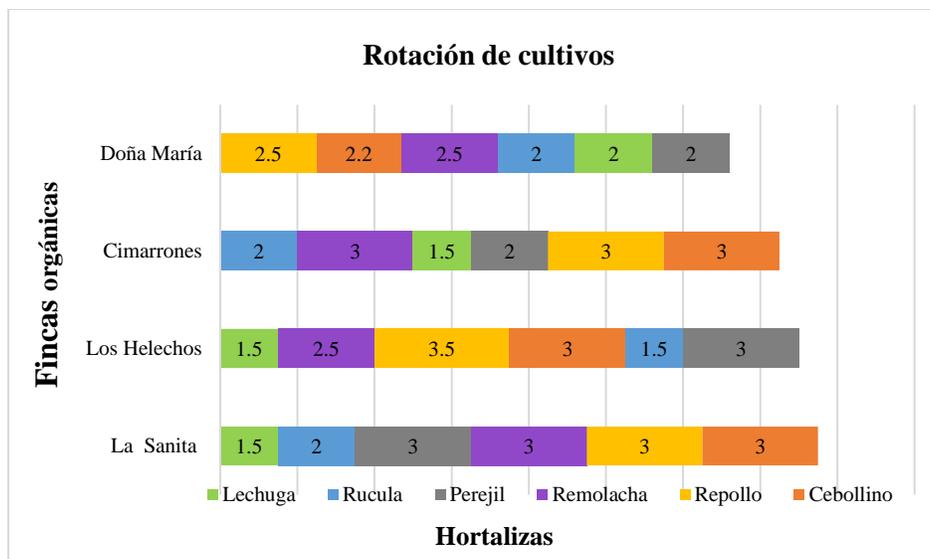


Figura 8. Rotaciones de cultivos y ciclos de producción de las hortalizas en las cuatro fincas estudiadas, Cartago, Costa Rica

En la Figura 8 se muestra la rotación de las hortalizas y su ciclo de producción durante el año, donde los números en cada cultivo indican la duración de cultivo en meses. Es notable que hay una gran variabilidad en las rotaciones, pero destacan algunos patrones en común como la secuencia de repollo seguido por cebollino, practicada en todas las fincas o la secuencia lechuga-perejil, practicada en dos de las fincas evaluadas. Dias *et al.* (2015), establecen que la rotación de los cultivos es una actividad planificada en el que la selección de los mismos para la sustitución no es al azar, sino que sigue los aspectos técnicos recomendados. Una recomendación central es que un cultivo que consume nitrógeno debe ser sustituido por un cultivo de fijación de nitrógeno y un cultivo de baja biomasa por uno de alta cubierta vegetativa (NRCS 2009).

**Necesidades de capacitación.** Los productores coincidieron en la necesidad de aumentar su capacidad para manejar y controlar las incidencias de hongos y bacterias con la utilización de microorganismos benéficos como *Trichoderma* y *Bacillus* ssp., además de la elaboración y aplicación de los biofermentos a base de minerales y frutas.

### *Costos de producción*

Los costos de la mano de obra para las prácticas agroecológicas, en comparación con prácticas agrícolas convencionales en la producción de las hortalizas, se muestran en el (Cuadro 9).

*Cuadro 9.* Costo de las prácticas agroecológicas (USD/m<sup>2</sup>/año) en la producción de seis hortalizas en las fincas orgánicas evaluadas en comparación con prácticas agrícolas en fincas convencionales.

Producción agroecológica/orgánica (estudio actual)		Producción convencional (Quesada 2020)		Ahorro en la producción agroecológica vs prod. convencional	
Práctica	A. Costo promedio por m <sup>2</sup> /año (USD)	Práctica	B. Costo promedio por m <sup>2</sup> /año (USD)	Ahorro (USD) (B-A)	Diferencia porcentual
Aplicación de bocashi	0,09	Fertilizantes granulados	0,20	0,11	55
Aplicación de composta		Fertilizantes foliares			
Aplicación de microorganismos MM	0,04	Insecticida	0,10	0,06	60
Aplicación de <i>Bacillus</i> y <i>Trichoderma</i>		Fungicida			
Biofermentos					
Cosecha de agua	0,01	Agua para riego	0,03	0,02	67
Rotación de cultivos	0,10	Labores ordinarias	0,30	0,20	67
Deshierbas	nd	Labores contratadas	nd		
Cobertura del suelo con <i>mulch</i>	nd	Mecanización	nd		
Manejo del agua de esorrentía y canales de guardia	nd	Almácigos	nd		
<b>Totales</b>	<b>0,24</b>		<b>0,63</b>	<b>0,39</b>	<b>62</b>

Cálculo para la diferencia porcentual:  $(B-A)*100/B$ ; nd = no determinado

Los resultados revelaron que la elaboración y ejecución de los abonos orgánicos y el control biológico tuvieron un costo promedio de USD 0,09 y USD 0,04 por m<sup>2</sup>/año a diferencia de la fertilización química que costó USD 0,20 y el control fitosanitario químico con USD 0,10, generando un ahorro relativo a favor de los sistemas orgánicos del 55 y 60%, respectivamente, comparado con los costos para la producción convencional.

La cosecha de agua y las labores culturales tuvieron un costo promedio de USD 0,01 y USD 0,10 por m<sup>2</sup>/año en contraste con USD 0,03 y USD 0,30 para el agua de riego y las labores en la producción convencional, generando un ahorro de un 67%. Considerando los costos totales, las prácticas agroecológicas costaron US\$ 0,24 versus las prácticas convencionales con un costo de USD 0,63, generando un ahorro de un 62%. Sin embargo, para la interpretación correcta de estos ahorros hay que considerar que hay varios elementos de costos que no podían ser incluidos en el presente estudio.

### *Análisis de fortalezas y debilidades*

El diagnóstico permitió identificar las diferentes debilidades y fortalezas relacionadas con aspectos sociales y ecológicos, según los productores (*Cuadro 10*). Todos los productores manifestaron como debilidad: (1) la falta de capital monetario; (2) la falta de voluntad estatal; (3) afectaciones por plagas y enfermedades; (4) la deficiencia en la conservación de semillas, respectivamente. Además 2 de los 4 productores mencionaron (5) la falta de terreno para aumentar la producción y (6) la falta de asesoría técnica.

*Cuadro 10.* Representación porcentual de las principales debilidades y fortalezas identificadas en las fincas

Debilidades	Productores	Total de productores (%)	Fortalezas	Productores	Total de productores (%)
Falta de terreno para aumentar la producción	2	50	Mano de obra familiar	4	100
Falta de capital monetario	4	100	Mercado seguro	2	50
Falta de asesoría técnica	2	50	Utilización de abonos orgánicos	4	100
Falta de voluntad estatal	4	100	Utilización de biofermentos	4	100
Afectaciones por plagas y enfermedades	4	100	Medidas de conservación de suelo	4	100
Deficiencia en la conservación de semillas	4	100	Productos libres de agroquímicos	4	100

N: (4) productores entrevistados

Yong-Chou *et al.* (2016) indicaron en su estudio que los entrevistados manifestaron como debilidad la falta de capital monetario (53%), la falta de voluntad estatal (40%), la falta de terreno para aumentar la producción (70%) y la falta de asesoría técnica (89%). Putnam *et al.* (2014) en California, mencionaron que el 91% de los entrevistados expresaron no tener agua disponible para la producción tradicional de alimentos, limitado uso de fertilizantes y abonos orgánicos, sequías prolongadas, disminución de las lluvias, disminución de la fertilidad del suelo y el 74% de los campesinos manifestó falta de capital monetario. El contraste entre el diagnóstico del actual estudio y los de producción convencional se justifica ya que los primeros fueron fundados en principios agroecológicos: a) conservar los recursos naturales y mantener niveles altos de producción agrícola sostenible; y b) minimizar los impactos en el medio ambiente.

Gómez *et al.* (2013) consideran que esas debilidades son frecuentes entre los agricultores sin que se le busque solución a las causas de los aspectos que lo provocaron. En ese sentido, se debe impulsar el aumento de las capacidades y conocimientos técnicos de los productores para la solución de dichas debilidades.

Con respecto a las fortalezas, el 100% de los productores indicaron las siguientes: (1) mano de obra familiar; (2) la utilización de abonos orgánicos; (3) la utilización de biofermentos; (4) medidas de conservación de suelo y (5) la producción de productos libres de agroquímicos. Además, la mitad de los productores mencionaron tener un mercado seguro como fortaleza.

### *El análisis DAFO*

Los resultados del análisis DAFO permiten determinar las estrategias que ayudan a que las prácticas agroecológicas contribuyan a que las fincas evaluadas tengan mayores resultados en términos de eficiencia de uso de los insumos y productividad de las hortalizas. En este análisis se tienen en consideración los factores internos y externos, con la jerarquización de seis fortalezas, seis debilidades, seis oportunidades y siete amenazas (*Cuadro 11*). Tales aspectos indican que se deben potencializar las fortalezas que disponen las fincas en la ejecución de las prácticas agroecológicas para afrontar las debilidades o amenazas que puedan afectarla.

Una vez finalizados los resultados del análisis de los factores que repercuten en la utilización y manejo de las prácticas agroecológicas, se jerarquizaron las debilidades y los problemas principales indicados por los productores: la escasa disponibilidad de áreas, la falta de capital monetario para inversiones, la deficiente conservación de semillas, las afectaciones en los cultivos por plagas y enfermedades, la falta de asesoría técnica y la falta de voluntad estatal. Sobre la base de esta problemática en esta evaluación participativa se diseñaron las estrategias para un mejor uso y manejo de las prácticas agroecológicas (*Cuadro 11*).

*Cuadro 11. Resultados del análisis DAFO de las fincas de hortalizas orgánicas, Cartago, Costa Rica*

ANÁLISIS INTERNO		ANÁLISIS EXTERNO	
<p><b>Fortalezas (jerarquizadas)</b>                      Recursos humanos                      Mercado seguro (demanda)                      Utilización de abonos orgánicos                      Utilización de biofermentos                      Utilización de medidas de conservación de suelos                      Productos libres de residuos de agroquímicos</p>	<p><b>Debilidades (jerarquizadas)</b>                      Escasa disponibilidad de área                      Falta de capital monetario para inversiones                      Deficiente conservación de semillas                      Afectaciones en los cultivos por plagas y enfermedades                      Falta de asesoría técnica                      Falta de voluntad estatal</p>	<p><b>Oportunidades (jerarquizadas)</b>                      Certificación orgánica                      Cooperación internacional                      Mercado seguro                      Apoyo del sector agropecuario y las asociaciones                      Voluntad política                      Estrecha relación con organizaciones, entidades e instituciones nacionales</p>	<p><b>Amenazas (jerarquizadas)</b>                      Escases de agua                      Trabas en la aprobación de proyectos                      Aumento en los costos de los abonos orgánicos                      Incidencia de plagas y enfermedades                      Elevados precios de las semillas                      Sequías prolongadas                      La no sucesión por parte de los descendientes familiares en las fincas</p>

29

**ESTRATEGIAS PARA EL FORTALECIMIENTO DE PRÁCTICAS AGROECOLÓGICAS**

<p><b>Defensivas</b>                      Valoración de la salud ambiental y humana                      Diversificación                      Manejo Fitotécnico de los cultivos                      Uso de recursos renovables</p>	<p><b>Supervivencia</b>                      Usar de manera eficiente los recursos naturales                      Proporcionar un manejo integral de la finca en su totalidad                      Establecimiento de diversidad por cultivos y genotipos                      Visita de intercambio entre productores                      Seguir promoviendo el uso de biofertilizantes y bioproductos                      Uso de cultivos resistentes a plagas y enfermedades</p>	<p><b>Ofensivas</b>                      Sensibilización de productores a resistencia al cambio de nuevas tecnologías                      Establecer sinergia con otros proyectos que operan en la localidad                      Formulación de proyectos                      Seguimiento y monitoreo                      Divulgación de resultados</p>	<p><b>Adaptativas</b>                      Continuar con el uso de abonos orgánicos                      Continuar con la cosecha de agua                      Uso de cultivos tolerantes a la sequía                      Evitar la difusión de especie no autóctonas                      Divulgación del uso de microorganismos antagonistas                      Manejo y conservación de semillas</p>
--	---	---	--

Los resultados muestran que los aspectos internos y externos encontrados se deben incorporar estratégicamente para resolver los problemas de mayor importancia con intervenciones agroecológicas. Del análisis surgieron cuatro estrategias defensivas, seis de supervivencia, cinco ofensivas y seis adaptativas.

Los entrevistados expresaron que las estrategias de mayor importancia para el buen uso y manejo de las prácticas agroecológicas en sus fincas fueron las adaptativas: el uso de abonos orgánicos, la cosecha de agua, el uso de cultivos tolerantes a la sequía, evitar la difusión de cultivos no autóctonos, la divulgación del uso de microorganismos antagonistas y el manejo y la conservación de semillas. Tales estrategias se consolidaron de acuerdo a la opinión y el consenso de los productores involucrados.

Putnam *et al.* (2014) identificaron estrategias altamente complementarias a las estrategias de la presente investigación. La estrategia (1) fue identificar mejores formas de uso del capital social, la (2) implementar propuestas para mejorar el uso de los recursos naturales, (3) identificar elementos que involucren a los jóvenes del círculo familiar en las actividades agrícolas para evitar que emigren a las ciudades, (4) optimizar la producción agrícola y fortalecer las interacciones entre los componentes de las fincas e incluir animales que provean de materia prima para la producción de los abonos orgánicos y (5) gestionar el acceso a la disponibilidad de los recursos locales, cómo agua, composta, terreno y fertilizantes.

### **Conclusiones y recomendaciones**

Los resultados de este estudio mostraron que las hortalizas producidas en las fincas orgánicas tuvieron una relación beneficio/costo promedio de 2,15 y una productividad promedio de 10,3 kg de peso fresco/m<sup>2</sup>/año, valores superiores a muchas fincas convencionales. En las fincas predominó la aplicación de composta, bocashi, biofermentos y microorganismos benéficos. Los resultados fueron superiores a dos de los tres estudios sobre producción convencional analizados como contraste. Dicho contraste revela que los sistemas orgánicos pueden competir y hasta superar sistemas convencionales bajo ciertas condiciones favorables; en promedio los sistemas de producción orgánica produjeron 1,8 veces más que los convencionales con la misma unidad de superficie (m<sup>2</sup>). Se recomienda realizar estudios adicionales donde se aumente el número de parcelas para que los datos recolectados sean todavía más robustos. También se deben determinar cuáles son las condiciones favorables, incluyendo los niveles de fertilidad del suelo, que permiten proyectar la relevancia y replicabilidad de estos resultados para otros productores.

Con respecto a la eficiencia de uso del agua de riego suplementario (EUAr), el presente estudio muestra una alta variabilidad en la productividad relativa a la cantidad de agua de riego utilizada. La eficiencia promedio para las cuatro fincas fue de 0,01 kg de peso fresco/l. Sin embargo, hay que considerar que el presente estudio no permitió cuantificar todas las fuentes de agua disponibles para los cultivos, por lo que otros estudios deben profundizar en este tema. En contraste con cinco estudios sobre producción de hortalizas convencionales, los sistemas de producción orgánica produjeron 2 veces menos que los convencionales con la misma cantidad de agua aplicada. Queda por analizar en estudios posteriores si esta diferencia se debe a una limitación nutricional de los cultivos orgánicos y si es un artefacto como resultado del hecho de que no todos los flujos de agua pudieron ser cuantificados en el presente estudio.

Para la eficiencia de uso del nitrógeno (EUN), aproximado por la PPN, se documentó un promedio de 627 kg de peso fresco/kg N aplicado. Los resultados revelaron que las fincas con mayor aplicación de nitrógeno fueron aquellas que incorporaron la mayor cantidad de residuos vegetativos y estiércol de diferentes animales. Según la PPN como *proxi* para la EUN, los sistemas orgánicos produjeron en promedio 2,2 veces más que los convencionales con la misma cantidad de nitrógeno aplicado. La mayor EUN en las fincas orgánicas ilustra claramente el potencial de reducir la dependencia de fertilizantes de N sintéticos al transformar sistemas convencionales a sistemas de producción orgánica. Se recomienda que en estudios posteriores se consideren también las variables nitrógeno proveniente de la descomposición de la materia orgánica en el suelo y adiciones de nitrógeno por la fijación biológica.

Con respecto a la eficiencia de uso de energía (EUE), los resultados mostraron que el mayor aporte de energía fue proporcionado por el trabajo humano, seguido de la gasolina y nitrógeno de fuente orgánica, mientras que la energía eléctrica fue el insumo energético menos utilizado en la producción de hortalizas orgánicas. A pesar de que la mayoría de los insumos utilizados en las fincas fueron de origen orgánico o renovables, se tiene que continuar con la disminución de los combustibles fósiles (gasolina) en el camino hacia la carbono-neutralidad. El contraste entre los sistemas orgánicos con los de producción convencional reveló que los sistemas orgánicos produjeron en promedio 1,8 veces más que los convencionales con la misma cantidad de energía utilizada.

La aplicación de prácticas agroecológicas puede generar beneficios sustanciales para la seguridad alimentaria, el medio ambiente y la protección del suelo. Los agricultores que aplican prácticas agroecológicas deben realizar análisis de suelo y aplicar los fertilizantes de acuerdo con los resultados de dichos análisis. Por lo tanto, esto permitirá el uso productivo de los recursos del suelo. En ese contexto, del diagnóstico surgieron 12 prácticas agroecológicas de las cuales, los productores indicaron que las utilizadas con más frecuencia y de mayor importancia fueron la aplicación de bocashi y otras compostas, la utilización de microorganismos de montaña ('MM'), *Bacillus* spp., *Trichoderma* y biofermentos, así como la rotación de los cultivos.

En los costos para la elaboración de los abonos orgánicos y la ejecución del control biológico, los productores se ahorraron un 55 y 60% de los costos incurridos para la fertilización química y del control fitosanitario químico, respectivamente. Con respecto a la cosecha de agua y las labores culturales, el ahorro fue del 67% de los costos incurridos para el agua de riego y las labores ordinarias convencionales. Los costos de la mano de obra y de los insumos para la ejecución de las prácticas agroecológicas fueron 62% menores que los costos de las prácticas agrícolas convencionales contrastadas.

Para el diagnóstico de las fincas se contemplaron aspectos sociales y ecológicos que permitieron identificar seis debilidades: (1) Falta de terreno para aumentar la producción; (2) falta de capital monetario; (3) falta de asesoría técnica; (4) falta de voluntad estatal; (5) afectaciones por plagas y enfermedades y (6) deficiencia en la conservación de semillas. Las fortalezas identificadas por los productores fueron: (1) mano de obra familiar; (2) mercado seguro; (3) utilización de abonos orgánicos; (4) utilización de biofermentos; (5) medidas de conservación de suelo y (6) la producción de productos libres de agroquímicos. Tales fortalezas son valoradas por los agricultores como aspectos neurálgicos de gran importancia para el éxito de la productividad de sus hortalizas. El contraste entre los resultados del diagnóstico de este actual estudio con los de producción convencional es justificable, debido a que los factores ambientales constatados en los diferentes

sistemas son altamente relevantes entre sí, ya que los primeros fueron fundados en principios agroecológicos.

Del análisis DAFO surgieron cuatro estrategias defensivas, seis de supervivencia, cinco ofensivas y seis adaptativas. Los entrevistados expresaron que las estrategias de mayor importancia para el buen uso y manejo de las prácticas agroecológicas en sus fincas son las adaptativas, sobre todo el uso de abonos orgánicos, la cosecha de agua, el uso de cultivos tolerantes a la sequía, evitar la difusión de cultivos no autóctonos, la divulgación del uso de microorganismos antagonistas, así como el manejo y la conservación de semillas. Los resultados de la productividad, del uso de los insumos y de la caracterización de prácticas agroecológicas revelaron que la producción de hortalizas orgánicas puede ser más ventajosa comparada con la producción convencional.

## Bibliografía

- Ali, M; Omid, M. 2010. Economical analysis and relation between energy inputs and yield of greenhouse cucumber production in Iran. *Applied Energy* 87(1):191-196. Available in [doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.07.021](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.07.021)
- Alipour, A; Veisi, H; Darijani, F; Mirbagheri, B; Behbahani, A. 2012. Study and determination of energy consumption to produce conventional rice of the Guilan province. *Research in Agricultural Engineering* 58(3):99-106. Available in [https://www.researchgate.net/publication/277962841\\_Study\\_and\\_determination\\_of\\_energy\\_consumption\\_to\\_produce\\_conventional\\_rice\\_of\\_the\\_Guilan\\_province](https://www.researchgate.net/publication/277962841_Study_and_determination_of_energy_consumption_to_produce_conventional_rice_of_the_Guilan_province)
- Alonso, A; Guzmán, G. 2010. Comparison of the efficiency and use of energy in organic and conventional agriculture in Spanish agricultural systems. *Journal of Sustainable Agriculture* 34(3):312–338. Available in [doi.org/10.1080/10440041003613362](https://doi.org/10.1080/10440041003613362)
- Altieri, M; Toledo, V. 2010. La revolución agroecológica en América Latina: Rescatar la naturaleza, asegurar la soberanía alimentaria y empoderar al campesino. *El Otro Derecho* (42):164-202. Disponible en <http://biblioteca.clacso.edu.ar/Colombia/ilsa/20130711054327/5.pdf>
- Argüello, H. 2015. Agroecology: scientific and technological challenges for agriculture in the 21st century in Latin America. *Agronomía Colombiana* 33(3):391-398. Available in [doi: 10.15446/agron.colomb.v33n3.52416](https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v33n3.52416)
- Assefa, T; Jha, M; Reyes, M; Tilahun, S; Worqlul, A. 2019. Experimental Evaluation of Conservation Agriculture with Drip Irrigation for Water Productivity in Sub-Saharan Africa. *Water* 11(3):1-13. Available in [doi:10.3390/w11030530](https://doi.org/10.3390/w11030530)
- Aydın, B; Aktürk, D. 2018. Energy use efficiency and economic analysis of peach and cherry production regarding good agricultural practices in Turkey: A case study in Çanakkale province. *Energy* 158:967-974. Available in [doi.org/10.1016/j.energy.2018.06.087](https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.06.087)
- Badgley, C; Moghtader, J; Quintero, E; Zakem, E; Chappell MJ, Aviles-Vazquez K, Samulon A; Perfecto, I. 2007. Organic agriculture and the global food supply. *Renewable Agriculture and Food Systems* 22(2):86-108. Available in [doi: https://doi.org/10.1017/S1742170507001640](https://doi.org/10.1017/S1742170507001640)
- Barbieri, P; Pellerin, S; Seufert, V; Smith, L; Ramankutty, N; Nesme, T. 2021. Global option space for organic agriculture is delimited by nitrogen availability. *Nature Food* 2(5):363-372. Available in [doi.org/10.1038/s43016-021-00276-y](https://doi.org/10.1038/s43016-021-00276-y)

- Barbosa, G; Gadelha, F; Kublik, N; Proctor, A; Reichelm, L; Weissinger, E; Wohlleb, G; Halden, R. 2015. Comparison of Land, Water, and Energy Requirements of Lettuce Grown Using Hydroponic vs. Conventional Agricultural Methods. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 12(6):6879–6891. Available in doi:10.3390/ijerph120606879
- Bender, I; Edesi, L; Hiiesalu, I; Ingver, A; Kaart, T; Kaldmäe, H; Talve, T; Tamm, I; Luik, A. 2020. Organic carrot (*Daucus carota* L.) production has an advantage over conventional in quantity as well as in quality. *Agronomy* 10(9):2-15. Available in doi.org/10.3390/agronomy10091420
- Benincasa, P; Guiducci, M; Tei, F. 2011. The nitrogen use efficiency: meaning and sources of variation case studies on three vegetable crops in central Italy. *HortTechnology* 21(3):266-273. Available in doi.org/10.21273/HORTTECH.21.3.266
- Berhongeray, G; Selva, V. 2018. Combinación de fertilización nitrogenada al suelo y foliar para aumentar rendimientos y eficiencia del uso de nitrógeno en cereales. *Fertilizar* 40(5):16-19. Disponible en <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/91667>
- Bustos, A; Guapizaca, P. 2018. Efecto del nitrógeno cómo fertilizante de liberación lenta e inoculación de micorrizas en producción de pimiento (*Capsicum annum* L.) en sustrato compost. Tesis Lic. Tegucigalpa, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 21 p. Disponible en <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6412/1/CPA-2018-T013.pdf>
- Calero, A; Quintero, E; Pérez, Y; González, Y; González, N. 2019. Efficient microorganism and lixiviate vermicompost applications increase the cucumber production. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica* 22(2):1-9. Available in <https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n2.2019.1167>
- Caporal, F; Paulus, G; Castobeber, J. 2009. Agroecología: una ciencia del campo de la complejidad. Brasilia MDA/SAF-Press, Brasil. 111p. Disponible en [http://www.emater.tche.br/site/arquivos\\_pdf/teses/Agroecologiaumacienciadocampodacomplexidade.pdf](http://www.emater.tche.br/site/arquivos_pdf/teses/Agroecologiaumacienciadocampodacomplexidade.pdf)
- Carson, R. 1962. “Primavera Silenciosa”. Madrid, España, Editorial Crítica. 372 p.
- Celik, Y; Peker, K; Oguz, C. 2010. Comparative analysis of energy efficiency in organic and conventional farming systems: a case study of black carrot (*Daucus carota* L.) production in Turkey. *Philippine Agricultural Scientist* 93(2):224-231. Available in <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20103310780>
- Céspedes, C; Millas, P. 2017. Relevancia de la materia orgánica del suelo. *Boletín INIA* no. 308. Disponible en <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/7858>
- Chilón Camacho, E. 2017. Revolución verde agricultura y suelos, aportes y controversias. *Revista de la Carrera de Ingeniería Agronómica - UMSA* 3(3):844-859. Disponible en <http://www.ojs.agro.umsa.bo/index.php/ATP/article/view/174>
- Ciampitti, I; García, F. 2007. Requerimientos nutricionales absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. *Archivo Agronómico* # 12. 4 p. Disponible en [http://lacs.ipni.net/0/0B0EE369040F863003257967004A1A41/\\$FILE/AA%2012.pdf](http://lacs.ipni.net/0/0B0EE369040F863003257967004A1A41/$FILE/AA%2012.pdf)
- Climate-Data.org. 2018. Climate, Turrialba, Costa Rica (online, website). Available in <https://en.climate-data.org/location/28663/>
- Costa Mello, S; Nimi Kassoma, J; Quesada Roldán, G; Dantas Da Silva, A; Donegá, M; Santos Dias, C. 2018. Abonos verdes en el rendimiento del perejil y la fertilidad del suelo en Piracicaba, Brasil. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 12(1):183-191. Disponible en <https://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/2881>

- Dias, T; Dukesa, A; Antunesa, M. 2015. Contabilización de los efectos bióticos del suelo en la salud del suelo y la productividad de los cultivos en el diseño de rotaciones de cultivos. *J. Sci.* 95:447-454.
- Dinis, I; Ortolani, L; Bocci, R; Brites, C. 2014. Organic agriculture and sustainable practices: towards a typology of innovative farmers. *Building Organic Bridges* 3(2):745–748. Available in <https://orgprints.org/id/eprint/23937/>
- Dobermann, A. 2007. Nutrient use efficiency—measurement and management. *In* Krauss, A., Isherwood, K., Heffer, P (eds.). *Fertilizer Best Management Practices: General Principles, Strategy for Their Adoption and Voluntary Initiatives Versus Regulations*. Paris, France, International Fertilizer Industry Association. 28 p. Available in [https://www.fertilizer.org//images/Library\\_Downloads/2007\\_IFA\\_FBMP%20Workshop\\_Brussels.pdf](https://www.fertilizer.org//images/Library_Downloads/2007_IFA_FBMP%20Workshop_Brussels.pdf)
- Dumont, A; Gasselin, P; Baret, P. 2020. Transitions in agriculture: three frameworks highlighting coexistence between a new agroecological configuration and an old, organic and conventional configuration of vegetable production in Wallonia (Belgium). *Geoforum* 108:98-109. Available in <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2019.11.018>
- Duru, M; Therond, O. 2015. Designing agroecological transitions. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 35(4):1237-1257. Available in <https://link.springer.com/article/10.1007/s13593-015-0318-x>
- Eguillor, P. 2017. Agricultura orgánica: productos orgánicos, certificación orgánica, uva vinífera, frutales, hortalizas, praderas, cereales, semillas y plantines. ODEPA 1-26. Disponible en [file:///C:/Users/Sandro%20Santana%20P/Desktop/Tema%20y%20director%20de%20tesis/Tesis%20SANDRO%20SANTANA/16-Eguillor,%20P.%20\(2017\).%20Agricultura%20org%C3%A1nica.pdf](file:///C:/Users/Sandro%20Santana%20P/Desktop/Tema%20y%20director%20de%20tesis/Tesis%20SANDRO%20SANTANA/16-Eguillor,%20P.%20(2017).%20Agricultura%20org%C3%A1nica.pdf)
- Fan, Z; Lin, S; Zhang, X; Jiang, Z; Yang, K; Jian, D; Chen, Y; Li, J; Chen, Q; Wang, J. 2014. Conventional flooding irrigation causes an overuse of nitrogen fertilizer and low nitrogen use efficiency in intensively used solar greenhouse vegetable production. *Agricultural Water Management* 144:11-19. Available in [doi:10.1016/j.agwat.2014.05.010](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.05.010)
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 1982. *Estadística agrícolas: estimación de las superficies y de los rendimientos de los cultivos*. Roma, Italia. 174 p. (Estudio FAO: desarrollo económico y social 22). Disponible en [http://www.fao.org/fileadmin/templates/ess/ess\\_test\\_folder/World\\_Census\\_Agriculture/Publications/FAO\\_ESDP/ESDP\\_22\\_Spa\\_Estimaci%C3%B3n\\_de\\_las\\_superficies\\_y\\_de\\_los\\_rendimientos\\_de\\_los\\_cultivos.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/ess/ess_test_folder/World_Census_Agriculture/Publications/FAO_ESDP/ESDP_22_Spa_Estimaci%C3%B3n_de_las_superficies_y_de_los_rendimientos_de_los_cultivos.pdf)
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2014. ¿Qué es la agricultura orgánica? Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2017. *Agroecología para la seguridad alimentaria y nutrición (2014, Roma, Italia)*. Actas. Roma, Italia. 466 p. Disponible en <http://www.fao.org/documents/card/en/c/1df54cc1-7cc5-4e38-bd10-496b43048b2c/>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2018. *Evolución de la productividad promedio a nivel mundial de diferentes cultivos entre 1961 y 2018*. Disponible en [https://ourworldindata.org/grapher/key-crop-yields?country=~OWID\\_WRL](https://ourworldindata.org/grapher/key-crop-yields?country=~OWID_WRL)

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2019. Transformación rural. Pensando el futuro de América Latina y el Caribe 2030. Santiago de Chile, Chile. 80 p. (Alimentación, agricultura y desarrollo rural en América Latina y el Caribe, No. 1). Disponible en <http://www.fao.org/3/ca5508es/ca5508es.pdf>
- Ferguson, BG; Morales, H 2010. Latin American Agroecologists Build a Powerful Scientific and Social Movement". *Jornal of Sustainable Agriculture* 34(4):339-341. Available in doi 10.1080/10440041003680049
- Fixen, E. 2010. Eficiencia de uso de nutrientes en el contexto de agricultura sostenible. *Informaciones Agronómicas* 76:1-9. Disponible en [http://www.nutricaoeplantas.agr.br/site/downloads/eficienciausodenutrientes\\_Fixen.pdf](http://www.nutricaoeplantas.agr.br/site/downloads/eficienciausodenutrientes_Fixen.pdf)
- Fixen, P; Brentrup, F; Bruulsema, T; García, F; Norton, R; Zingore, S. 2015. Nutrient/fertilizer use efficiency: measurement, current situation and trends. *Managing water and fertilizer for sustainable agricultural intensification*. Paris, France, IFA, IWMI, IPNI and IPIP. 270 p. Disponible en [https://krishi.icar.gov.in/jspui/bitstream/123456789/31139/1/managing\\_water\\_and\\_fertilizer\\_for\\_sustainable\\_agricultural\\_intensification.pdf#page=20](https://krishi.icar.gov.in/jspui/bitstream/123456789/31139/1/managing_water_and_fertilizer_for_sustainable_agricultural_intensification.pdf#page=20)
- Gaitán-Cremaschi, D; Klerkx, L; Duncan, J; Trienekens, J; Huenchuleo, C; Dogliotti, S; Rossing, W. 2019. Characterizing diversity of food systems in view of sustainability transitions. A review. *Agronomy for sustainable development* 39(1):1-22. Available in <https://link.springer.com/article/10.1007/s13593-018-0550-2>
- Gándara, P; Cerda, R; Zayas, F. 2002. Sistema de desalación solar de agua de mar para riego eficiente en un módulo de cultivo. *Tecnología y Ciencias del Agua* 17(2):55-64. Disponible en <http://revistatyca.org.mx/index.php/tyca/article/view/924>
- García, J; Espinosa, J. 2009. Efecto del fraccionamiento de nitrógeno en la productividad y en la eficiencia agronómica de macronutrientes en maíz. *Informaciones Agronómicas* 72:1-5. Disponible en [http://nla.ipni.net/ipniweb/region/nla.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/40ad1ee26c802f005257a5300510c6d/\\$FILE/Fraccionamiento.pdf](http://nla.ipni.net/ipniweb/region/nla.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/40ad1ee26c802f005257a5300510c6d/$FILE/Fraccionamiento.pdf)
- Gliessman, S. 2002. *Agroecología: Procesos ecológicos en agricultura sostenible*. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 380 p. Disponible en [https://issuu.com/romulotorresdesouza/docs/\\_agroecolog\\_a\\_procesos\\_ecol\\_gic](https://issuu.com/romulotorresdesouza/docs/_agroecolog_a_procesos_ecol_gic)
- Gliessman, S. 2007. *Agroecología: La ecología de los sistemas alimentarios sostenibles*. Florida, United States of America, CRC Press. 384 p.
- Gliessman, S; Tittonell, P. 2015. Agroecology for Food Security and Nutrition. *Agroecology and Sustainable Food Systems* 39(2):131-133.
- Gómez, C; Galdámez, F; Guevara, H; Ley, C; Pinto, R. 2013. Evaluación de áreas ganaderas en la zona de amortiguamiento de una reserva natural en Chiapas, México. *Información Técnica Económica Agraria* 109(1):69-85. Disponible en [https://www.researchgate.net/profile/R-Pinto-Ruiz/publication/262451619\\_Evaluacion\\_de\\_áreas\\_ganaderas\\_en\\_la\\_zona\\_de\\_amortiguamiento\\_de\\_una\\_reserva\\_natural\\_en\\_Chiapas\\_Mexico/links/00b7d537d72b47f60b000000/Evaluacion-de-áreas-ganaderas-en-la-zona-de-amortiguamiento-de-una-reserva-natural-en-Chiapas-Mexico.pdf](https://www.researchgate.net/profile/R-Pinto-Ruiz/publication/262451619_Evaluacion_de_áreas_ganaderas_en_la_zona_de_amortiguamiento_de_una_reserva_natural_en_Chiapas_Mexico/links/00b7d537d72b47f60b000000/Evaluacion-de-áreas-ganaderas-en-la-zona-de-amortiguamiento-de-una-reserva-natural-en-Chiapas-Mexico.pdf)
- Gómez-Cortés, M. 2014. Emisiones de gases de efecto invernadero y biomasa aérea de cuatro fincas agroecológicas en el Área de Conservación Tortuguero. Tesis Ing. Forestal. Cartago, Costa Rica, ITCR. 57 p. Disponible en <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/4029>

- González Robaina, F; Herrera Puebla, J; López Seijas, T; Cid Lazo, G. 2014. Productividad del agua en algunos cultivos agrícolas en Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 23(4):21-27. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/932/93231641004.pdf>
- González, F; Herrera, T; López, G, Cid. 2011. Productividad del agua en el cultivo de maíz en condiciones del sur de la Habana, Cuba. *Revista Ingeniería Agrícola y Biosistemas* 2(2):81-86. Disponible en <https://revistas.chapingo.mx/inagbi/revista/articulos/inagbi21120.pdf>
- González, M; Chasi, P; Palacios, H; López, P; Guevara, A; Pérez, E; Peña, E. 2008. Alternativas de manejo biorgánico en la nutrición hortícola en sistemas de agricultura urbana en CUBA. X congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo 14 p. Disponible en <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/13.-Alternativas-de-Manejo.pdf>
- Hernández, J; Girón, V; Cerisola, C. 1995. Long-term energy use and economic evaluation of three tillage systems for cereal and legume production in central Spain. *Soil & Tillage Res* 35:183-198. Disponible en [doi.org/10.1016/0167-1987\(95\)00490-4](https://doi.org/10.1016/0167-1987(95)00490-4)
- IFOAM. 2017. bioC-IOAS. Cambio para bien: plataforma de innovación tecnológica. Informe anual de IFOAM-Organics International y sus grupos de acción. 22 p. Disponible en <file:///C:/Users/Sandro%20Santana%20P/Desktop/Tema%20y%20director%20de%20tesis/Tesis%20SANDRO%20SANTANA/18-Informe%20anual%20consolidado%20de%20IFOAM%20-%20Organics%20International%20y%20su%20grupo%20de%20acci%C3%B3n.pdf>
- IMN (Instituto Meteorológico Nacional, Costa Rica). 2014. Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero y absorción de carbono en Costa Rica. San José, Costa Rica. Disponible en [http://cglobal.imn.ac.cr/sites/default/files/documentos/inventariogasesinvernadero2010-web\\_0.pdf](http://cglobal.imn.ac.cr/sites/default/files/documentos/inventariogasesinvernadero2010-web_0.pdf)
- IMN (Instituto Meteorológico Nacional, Costa Rica). 2015. Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero y absorción de carbono en Costa Rica 2012. San José, Costa Rica. Disponible en <http://cglobal.imn.ac.cr/sites/default/files/documentos/inventariogei-2012.pdf>
- Jiménez, J; López, J; Huez, M; Villegas, A. 2021. Rendimiento y eficiencia en el uso del agua de un genotipo de chile serrano (*Capsicum annuum* L.) producido bajo fertilización orgánica e inorgánica en casa sombra. *International Journal of Development Research* 11(05):47329-47332. Disponible en [doi.org/10.37118/ijdr.21984.05.2021](https://doi.org/10.37118/ijdr.21984.05.2021)
- Jones, R; Insic, M; Franz, P; Tomkins, B. 2007. High nitrogen during growth reduced glucoraphanin and flavonol content in broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) heads. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 47(12):1498–1505. Available in <https://www.publish.csiro.au/AN/EA06205>
- Knox, J; Kay, M; Weatherhead, E. 2012. Regulación del agua, producción de cultivos y agua agrícola gestión-comprensión de las perspectivas de los agricultores sobre la eficiencia del riego. *Agric Water Manage* 108:3-8. Disponible en [doi.org/10.1016/j.agwat.2011.06.007](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.06.007)
- Maisiri, N; Senzanje, A; Rockstrom, J; Twomlow, S. 2005. On farm evaluation of the effect of low-cost drip irrigation on water and crop productivity compared to conventional surface irrigation system. *Physics and Chemistry of the Earth, parts A/B/C* 30(11-16):783-791. Available in [doi.org/10.1016/j.pce.2005.08.021](https://doi.org/10.1016/j.pce.2005.08.021)
- Mandal, K; Ghosh, P; Hati, K; Bandyopadhyay, K. 2002. Bioenergía y análisis económico de los sistemas de producción de cultivos basados en soja en el centro de la India. *Biomasa Bioenergía* 23(5):337-345. Disponible en [doi: 10.1016 / s0961-9534 \(02\) 00058-2](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(02)00058-2)

- Marine, C; Martin, A; Adalja, A; Mateo, S; Everts, K. 2016. Efecto del canal de mercado, la escala de la finca y los años de producción en el conocimiento y la implementación de las Buenas Prácticas Agrícolas de los productores de hortalizas del Atlántico medio. *Food Control* 59:128-138. Disponible en doi: 10.1016 / j.foodcont.2015.05.024
- Martínez-Sánchez, J; Salinas-Cruz, E; Morales-Guerra, M; Vásquez-Ortiz, R; Noriega-Cantú, D; Contreras-Hinojosa, J. 2019. Escuelas de campo y producción de hortalizas orgánicas en una comunidad Tzotzil. *AGRO Productividad* 12(4):87-93. Disponible en <https://web.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=1&sid=918e4bda-f8ae-4831-9d4f-5c1d8f217f41%40sessionmgr4007>
- Matheus, E; Caracas, J; Montilla, F; Fernández, O. 2007. Eficiencia agronómica relativa de tres abonos orgánicos (vermicompost, compost, y gallinaza) en plantas de maíz (*Zea mays* L.). *Agricultura Andina* 13:27-38. Disponible en <http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/27873>
- McDougall, R; Kristiansen, P; Rader, R. 2019. Small-scale urban agriculture results in high yields but requires judicious management of inputs to achieve sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 116(1):129-134. Available in doi.org/10.1073/pnas.1809707115
- Michels-Mighty, J; Rodríguez-Fernández, P; Montero-Limonta, G. 2020. Fertirriego e inoculación con *Glomus cubense* sobre crecimiento y productividad del pimiento en cultivo protegido. *Maestro y Sociedad* 17(2):218-232. Disponible en <https://maestrosociedad.uo.edu.cu/index.php/MyS/article/view/5159>
- Migliorini, P; Wezel, A. 2017. Converging and diverging principles and practices of organic agriculture regulations and agroecology. A review. *Agronomy for sustainable development* 37(6):1-18. Available in <https://link.springer.com/article/10.1007/s13593-017-0472-4/>
- Mohammadi, A; Omid, M. 2010. Economical analysis and relation between energy inputs and yield of greenhouse cucumber production in Iran. *Applied Energy* 87(1):191-196. Available in doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.07.021
- Molina, A; Barrientos, G; Bonilla, M; Garita, C; Jiménez, A; Madriz, M; Valdés, S. 2017. ¿Son las fincas agroecológicas resilientes? Algunos resultados utilizando la herramienta SHARP-FAO en Costa Rica. *Revista Ingeniería* 27(2):25-39. Disponible en <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/ingenieria/article/view/27859>
- Muschler, RG. 2016. Agroforestry: essential for climate-smart landuse? *In* Pancel L, Köhl M (eds.). *Tropical Forestry Handbook*. 2nd ed. Berlin, Springer. Available in Doi:10.1007/978-3-642-41554-8\_300-1
- Muschler, RG. 2019. Proyecto “Cosecha de agua” CATIE-APROCO” diagnóstico de finca y foto documentación de aportes del proyecto. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 16 p. Disponible en <https://enbcr.go.cr/sites/default/files/catie.pdf>
- Musyoka, M; Adamtey, N; Muriuki, A; Cadisch, G. 2017. Effect of organic and conventional farming systems on nitrogen use efficiency of potato, maize and vegetables in the Central highlands of Kenya. *European Journal of Agronomy* 86:24-36. Available in doi:10.1016/j.eja.2017.02.005
- Namdari, M; Kangarshahi, A; Amiri, N. 2011. Input-output energy analysis of citrus production in Mazandaran province of Iran. *African Journal of Agricultural Research* 6(11):2558-2564. Available in doi.org/10.5897/AJAR11.375

- Nederhoff, E; Stanghellini, C. 2010. Eficiencia en el uso del agua de los tomates. *Hidroponía práctica e invernaderos* (115):52-59. Disponible en <https://search.informit.org/doi/10.3316/informit.484085574902056>
- Negrete, U; Guzmán, B. 2015. Estrategias de comercialización de productos agrícolas orgánicos en Guanajuato: Estudio de Casos. *Jóvenes en la Ciencia* 1(2):694-699. Disponible en <http://repositorio.ugto.mx/handle/20.500.12059/2593>
- Nicholls, C; Henao, A; Altieri, M. 2015. Agroecología y el diseño de sistemas agrícolas resilientes al cambio climático. *Revista Agroecología* 10(1):7-31. Disponible en <https://revistas.um.es/agroecología/article/view/300711>
- NRCS (Servicio de Conservación de Recursos Naturales). 2009. Producción orgánica: uso de estándares de práctica NRCS para apoyar a los cultivadores orgánicos Washington, DC, EE. UU, Servicio de Conservación de Recursos Naturales. 6 p.
- Nyaga, J; Barrios, E; Muthuri, C; Öborn, I; Matiru, V; Sinclair, F. 2015. Evaluating factors influencing heterogeneity in agroforestry adoption and practices within smallholder farms in Rift Valley, Kenya. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 212:106-118. Available in [doi.org/10.1016/j.agee.2015.06.013](https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.06.013)
- Ollivier, G; Magda, D; Mazé, A; Plumecocq, A; Lamine, C. 2018. Agroecological transitions: What can sustainability transition frameworks teach us? An ontological and empirical analysis. *Ecology and Society* 23(2):1-19. Available in <https://hal.inrae.fr/hal-02622145>
- Ozkan, B; Kurklu, A; Akcaoz, H. 2004. An input–output energy analysis in greenhouse vegetable production: a case study for Antalya region of Turkey. *Biomass and Bioenergy* 26(1):89-95. Available in [doi.org/10.1016/S0961-9534\(03\)00080-1](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(03)00080-1)
- Paramesh, V; Arunachalam, V; Nath, A. 2019. Enhancing ecosystem services and energy use efficiency under organic and conventional nutrient management system to a sustainable Areca nut based cropping system. *Energy* 187:1-10. Available in [doi.org/10.1016/j.energy.2019.115902](https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.115902)
- PNAO (Programa Nacional de Agricultura Orgánica, Costa Rica). 2013. Estudio sobre el entorno nacional de la agricultura orgánica en Costa Rica. Programa Nacional de Agricultura Orgánica (en línea). San José, Costa Rica, 80 p. Consultado 2 sept. 2020. Disponible en [http://www.mag.go.cr/biblioteca\\_virtual/bibliotecavirtual/prog-nac-agric-org-entorno.pdf](http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual/bibliotecavirtual/prog-nac-agric-org-entorno.pdf)
- Ponisio, L; Gonigle, L; Mace, K; Palomino, J; Valpine, P; Kremen, C. 2015. Diversification practices reduce organic to conventional yield gap. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 282(1799):1-7. Available in [doi.org/10.1098/rspb.2014.1396](https://doi.org/10.1098/rspb.2014.1396)
- Pradeepkumar, T; Bonny, P; Midhila, R; John, J; Divya, M; Roch, C. 2017. Effect of organic and inorganic nutrient sources on the yield of selected tropical vegetables. *Scientia Horticulturae* 224:84–92. Available in [doi:10.1016/j.scienta.2017.04.022](https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.04.022)
- Putnam, H; Godek, W; Kissmann, S; Pierre, JL, Alvarado Dzul, SH; Calix de Dios, H; Gliessman, SR. 2014. Coupling Agroecology and PAR to Identify Appropriate Food Security and Sovereignty Strategies in Indigenous Communities. *Agroecology and Sustainable Food Systems* 38(2):165–198. Available in [doi:10.1080/21683565.2013.837422](https://doi.org/10.1080/21683565.2013.837422)
- Quesada, A. 2020. Análisis comparativo de precios y costos de producción de hortalizas cultivadas de manera orgánica y convencional. *Agronomía Costarricense* 44(2):81-108. Disponible en <http://dx.doi.org/10.15517/rac.v44i2.43091>
- Ramos, A; Terry, A. 2014. Generalidades de los abonos orgánicos: importancia del bocashi cómo alternativa nutricional para suelos y plantas. *Cultivos Tropicales* 35(4):52-59. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193232493007.pdf>

- Reganold, J; Glover, J; Andrews, P; Hinman, H. 2001. Sostenibilidad de tres sistemas de producción de manzanas. *Nature* 410(6831):926–930. Disponible en <https://www.nature.com/articles/35073574>
- Reganold, J; Wachter, J. 2016. Organic agriculture in the twenty-first century. *Nature plants* 2(2):1-8. Available in <https://www.nature.com/articles/nplants2015221>
- Restrepo, J; Borja, E; Muñoz, O; Restrepo, D. 2016. Producción orgánica y su impacto en el desarrollo económico del sector rural colombiano. *Ágora* 2(2):57-68. Disponible en <https://ojs.tdea.edu.co/index.php/agora/article/view/235>
- Rincón L; Sáez, J; Balsalobre, E. 1995. Crecimiento y absorción de nutrientes del pimiento grueso bajo invernadero. *Investigación Agraria* 10(1):47-59. Disponible en <https://bibliotecas.uncuyo.edu.ar/explorador3/Record/OAGANASID068414>
- Risoud, B. 1999. Desarrollo sostenible y análisis energético de las explotaciones agrarias. *Economía Rural* 252(julio-agosto):16-26.
- Risoud, B. 2000. Energy efficiency of various French farming systems: questions to sustainability. s. n. t. (Paper presented at the International Conference Sustainable energy: new challenges for agriculture and implications for land use, Wageningen University, the Netherlands, 18-20, 2000). Available in [https://www2.dijon.inrae.fr/cesaer/wp-content/uploads/2012/11/WP2000\\_9.pdf](https://www2.dijon.inrae.fr/cesaer/wp-content/uploads/2012/11/WP2000_9.pdf)
- Rodríguez, M; Muñoz, O; Calero, B; Martínez, F; Montero, A; Limeres, T; Aguilar, M. 2012. Contenido de metales pesados en abonos orgánicos, sustratos y plantas cultivadas en organopónicos. *Cultivos Tropicales* 33(2):05-12. Disponible en <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/73693/1/contenido-de-metales-pesados-en-abonos-orgánicos.pdf>
- Rodríguez-Sosa, RDL; Lara-Herrera, A; Trejo-Téllez, LI; Padilla-Bernal, LE; Solis-Sánchez, LO; Ortiz-Rodríguez, JM. 2020. Water and fertilizers use efficiency in two hydroponic systems for tomato production. *Horticulture Brasileira* 38:47-52. Available in doi: [org/10.1590/S0102-053620200107](https://doi.org/10.1590/S0102-053620200107)
- Salazar-García, S. 2002. Nutrición del aguacate, principios y aplicaciones. Querétaro, México, INIFAP-INPOFOS. 165 p. Disponible en <https://www.worldcat.org/title/nutricion-del-aguacate-principios-y-aplicaciones/oclc/651587492>
- Sans, F; Armengot, L; Bassa, M; Blanco, M; Caballero, L; Chamorro, L; José, M. 2013. La intensificación agrícola y la diversidad vegetal en los sistemas cerealistas de secano mediterráneos: implicaciones para la conservación. *Revista Ecosistemas* 22(1):30-35. Disponible en doi 10.7818/re.2014.22-1.00
- Sarandón S; Flores, C (eds.). 2014. Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de los Agroecosistemas sustentables. La Plata, Argentina, Universidad nacional de la Plata. 466 p. Disponible en <https://libros.unlp.edu.ar/index.php/unlp/catalog/book/72>
- Seufert, V; Ramankutty, N; Foley, J. 2012. Comparing the yields of organic and conventional agriculture. *Nature* 485(7397):229-232. Available in [https://www.nature.com/articles/nature11069?page=14%20%20%20%20https://advances.sciencemag.org/content/3/3/e1602638?TB\\_iframe=true&width=921.6&height=921.6](https://www.nature.com/articles/nature11069?page=14%20%20%20%20https://advances.sciencemag.org/content/3/3/e1602638?TB_iframe=true&width=921.6&height=921.6)
- Snyder, R. 2017. Impactos del cambio climático en el uso del agua en la horticultura. *Horticulturae* 3(2):1-27.

- Soil Association. 2020. Fixing Nitrogen. The challenges for climate, nature, and health (online). s. 1., Soil Association. Consulted 18 oct. 2020 Available in [https://www.soilassociation.org/media/21286/fixing\\_nitrogen\\_soil\\_association\\_report.pdf](https://www.soilassociation.org/media/21286/fixing_nitrogen_soil_association_report.pdf)
- Sosa-Rodríguez, B; García-Vivas, S. 2018. Efficiency of nitrogen use in fertilized organic and mineral corn. *Agronomía Mesoamericana* 29(1):215-227. Available in [doi.org/10.15517/ma.v29i1.27127](https://doi.org/10.15517/ma.v29i1.27127).
- Trujillo, FL; Quiceno MÁ; Giraldo, DR; Nieto, LE; Sanclemente, ÓE; Fonseca, JA; Miranda, VJ. 2015. Ciudadanía ambiental, crisis de la agricultura convencional y desafíos para una agroecología orientada hacia el desarrollo rural. 88 p. Disponible en <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/19317/1222-2422-2-PB.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Unakitan, G; Hurma, H; Yilmaz, F. 2010. An analysis of energy use efficiency of canola production in Turkey. *Energy* 35(9):3623-3627. Available in [doi.org/10.1016/j.energy.2010.05.005](https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.05.005)
- Wezel, A; Casagrande, M; Celette, F; Vian, JF; Ferrer, A; Peigné, J. 2014. Agroecological practices for sustainable agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 34(1):1–20. Available in [doi:10.1007/s13593-013-0180-7](https://doi.org/10.1007/s13593-013-0180-7)
- Yong-Chou, A; Crespo-Morales, A; Benítez-Fernández, B; Pavón-Rosales, M; Almenares-Garlobo, G. 2016. Uso y manejo de prácticas agroecológicas en fincas de la localidad de San Andrés, municipio La Palma. *Cultivos Tropicales* 37(3):15-21. Disponible en <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20163388205>
- Zamora, M; Cerdá, E; Carrasco, N; Pusineri, L; De Luca, L; Pérez, A. 2015. Agroecología vs agricultura actual II: demanda de energía, balance y eficiencia energética en cultivos extensivos en el centro sur bonaerense, Argentina. *In V Congreso Latinoamericano de Agroecología* ((V, 2015, La Plata, Argentina). Memorias. Archivo digital. Disponible en <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/56458>
- Zhang, M; Fan, C.H; Li, Q; Li, B; Zhu, Y; Xiong, Z. 2015. A 2-yr field assessment of the effects of chemical and biological nitrification inhibitors on nitrous oxide emissions and nitrogen use efficiency in an intensively managed vegetable cropping system. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 201:43–50. Available in [doi:10.1016/j.agee.2014.12.003](https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.12.003)
- Zhuang, Minghao; Lam, Shu Kee; Zhang, Jing; Li, Hu; Shan, Nan; Yuan, Yuling; Wang, Ligang. 2019. Effect of full substituting compound fertilizer with different organic manure on reactive nitrogen losses and crop productivity in intensive vegetable production system of China. *Journal of Environmental Management* 243:81–384. Available in [doi:10.1016/j.jenvman.2019.05.026](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.026)

**GUÍA PARA LAS ENTREVISTAS A PRODUCTORES DE HORTALIZAS ORGÁNICAS**  
**REGIÓN CENTRAL, COSTA RICA**

**Objetivo:** Recolectar información sobre la productividad (kg/m<sup>2</sup>/año), uso de agua, nitrógeno y energía en las fincas objeto de estudio.

**Lugar donde se realiza la entrevista:**

**Sujeto de estudio:**

**Área total de la finca en ha:**

**Sistema de producción de la finca:**

**Nombre de entrevistado(a):**

**Estado civil:**

**Régimen de tenencia de la finca:**

**Nombre del entrevistador:**

**Fecha y hora de entrevista:**

**PREGUNTAS:**

1. ¿Existe algún tipo de seguro agrario que cubra las cosechas? ¿Qué cubre?
2. ¿Ha recibido apoyo por parte de proyectos externos de desarrollo rural?
3. ¿Su finca pertenece a una asociación y/o cooperativa?
4. ¿Cuáles cultivos se producen en la finca?
5. ¿Monocultivo o policultivo?

**I. PRODUCTIVIDAD**

6. ¿Ha aumentado o disminuido la producción de las hortalizas a través de los años? ¿por qué?  
                  SÍ                  NO
7. ¿Cuántos kilogramos de productos frescos se producen cada año? ¿por cosecha? ¿precio por kilogramos (Kg/USD)?
8. ¿Cuántas cosechas por cultivo se realizan al año (#)? ¿Costo por cosecha?
9. ¿Cuántos kilogramos por metro cuadrado de productos frescos produce cada cultivo?
10. ¿Costo de la mano de obra por cosecha/año para cada hortaliza?
11. ¿Cuáles equipos y herramientas se utilizan en la finca? ¿Qué precio tienen actualmente?

**II. DESTINO DE LA COSECHA**

12. ¿Comercialización y/o autoconsumo? ¿Exportación o venta en mercados locales o nacionales?
13. ¿Quién vende la cosecha? ¿Interviene una cooperativa?
14. ¿Es un producto rentable?

### **III. UTILIZACIÓN DEL AGUA**

15. ¿Cuál es la procedencia del agua utilizada en la finca? ¿Cuánto cuesta/mes?
16. ¿Cuál es el método de riego utilizado?
17. ¿Cuál es la frecuencia de riego por día? ¿Cuánto tiempo?
18. ¿Cuántos m<sup>2</sup> se riegan?
19. ¿Cuál es el consumo de agua en litros/día?
20. ¿Cuál es el consumo de agua en litros/kg de productos frescos cosechados?
21. ¿Cuál es la eficiencia de uso del agua en la finca?

### **IV. UTILIZACIÓN DE NITRÓGENO**

22. ¿Cuál es la procedencia del nitrógeno (N) utilizado en la finca? ¿Costo/kg?
23. ¿Cuál es el costo del nitrógeno o preparación de abono nitrogenado por año?
24. ¿Cuál es la frecuencia de aplicación de N? ¿dosis por aplicación?
25. ¿Cuál es el consumo de N en kg/día?
26. ¿Cuál es el consumo de N en kg/kg de productos frescos cosechados por año?
27. ¿Cuál es la eficiencia de uso del N en la finca en kg N/kg producto fresco/año?

### **V. UTILIZACIÓN DE ENERGÍA FÓSIL**

28. ¿Cuáles son las fuentes de energía utilizadas en la finca? (Energía eléctrica, combustible fósil)
29. ¿Cuántos kWh de energía eléctrica se consume para la producción de hortalizas? ¿Cuánto cuesta/año?
30. ¿Cuántos litros de combustible se utiliza para la producción de hortalizas y transporte de productos y materiales para la preparación de abonos? ¿Frecuencia de uso y cuánto cuesta/año? (Gasolina, diésel, GLP y aceites hidráulicos).

### **VI. RESIDUOS Y DESECHOS ORGÁNICOS**

31. ¿Cuáles residuos orgánicos provenientes de la finca se utilizan para preparar abonos orgánicos?
32. ¿Cuáles residuos orgánicos provenientes de la finca se desechan o queman? ¿Cantidad en kg y/o m<sup>3</sup>/cosecha/año?

### **VII. FERTILIZANTES ORGÁNICOS**

33. ¿Cuáles fertilizantes orgánicos se elaboran en la finca para su utilización en la producción de hortalizas orgánicas? ¿Cantidad en litros y/o m<sup>3</sup>/año?
34. ¿Cuál es la frecuencia y dosis de aplicación de esos fertilizantes en la producción de hortalizas orgánicas? ¿día/mes/año?
35. ¿Cuánto les cuesta a los productores producir un litro y/o m<sup>3</sup> de fertilizantes orgánicos? ¿En cuánto tiempo?
36. ¿Cuáles son las ventas que se realizan para cada cultivo por año? ¿Cuánto son los ingresos?
37. ¿Cuántas horas de trabajo se le dedican a la finca por día?
38. ¿Cuáles son los componentes de los abonos foliares y sólidos?
39. ¿Cuáles fertilizantes foliares utilizan?
40. ¿Cuál es la dosis de aplicación?
41. ¿Cuál es la rotación entre los cultivos durante el año?

Hortalizas	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic

42. ¿Cuál es la diferencia entre la producción de las hortalizas dentro y fuera del invernadero?

### **IDENTIFICACION Y DESCRIPCIÓN DE PRÁCTICAS AGROECOLÓGICAS EN PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS ORGÁNICAS**

**Objetivo:** Recolectar información sobre prácticas agroecológicas implementadas en las cuatro fincas objeto de estudio.

**Lugar donde se realiza la entrevista:**

**Sujeto de estudio:**

**Área total de la finca en ha**

**Sistema de producción de la finca:**

**Nombre de entrevistado(a):**

**Nombre del entrevistador:**

**Fecha y hora:**

#### **PREGUNTAS:**

1. ¿Cuáles prácticas agrícolas se implementa en la finca? ¿Cuántas?
2. ¿Cuál es la frecuencia de utilización de cada práctica? ¿Cuánto tiempo?
3. ¿Cuáles son las prácticas que más ayudan a obtener mayores rendimientos por cosecha?
4. ¿Cuál es la práctica que conlleva los costes más bajos en las producciones?
5. ¿Cuál es la práctica que conlleva los costes más altos en las producciones?
6. ¿Cuáles son los tipos de productos orgánicos aplicados en las labores agrícolas?
7. ¿Cuál es el volumen de productos orgánicos o dosificación aplicada en cada práctica?

#### **ANÁLISIS DAFO**

##### **Análisis interno:**

1. ¿Cuáles son las debilidades que existen en la finca en el uso y manejo de las prácticas agroecológicas? ¿Cuál es el valor de importancia de las debilidades para su finca?: (alto, medio y bajo).
  - Deficiente producción y conservación de semillas:
  - Bajos rendimientos:
  - Falta de insumos:
  - Afectaciones en los cultivos por plagas y enfermedades:
  - Escasa disponibilidad de áreas:
  - Falta de capital monetario para inversiones:

2. ¿Cuáles son las fortalezas que existen en la finca en el uso y manejo de las prácticas agroecológicas?
- Utilización de abonos orgánicos:
  - Utilización de abonos verdes:
  - Utilización de medidas de conservación de suelos:
  - Recursos humanos:
  - Mercado seguro (demanda):
  - Voluntad estatal:
  - Asesoría técnica:
  - Certificación orgánica:

### **Análisis externo**

3. ¿Cuáles son las oportunidades que existen en la finca para el uso y manejo de las prácticas agroecológicas?
- Mercado seguro:
  - Apoyo del sector agropecuario y la cooperativa:
  - Cooperación internacional:
  - Voluntad política:
  - Estrecha relación con organizaciones, entidades e instituciones nacionales:
4. ¿Cuáles son las amenazas que existen en la finca por el uso y manejo de las prácticas agroecológicas?
- Sistema de pago demorado:
  - Incidencia de plagas y enfermedades:
  - Elevados precios de las semillas:
  - Sequías prolongadas:
  - Escases de agua:
  - Trabas en la aprobación de proyectos:
  - Aumento en los costos de los abonos orgánicos:

**Formulario para la recopilación de datos de las mediciones en campo en kg de productos frescos/m<sup>2</sup>**

Lugar \_\_\_\_\_

Sujeto de estudio: \_\_\_\_\_

Área total de la finca en ha \_\_\_\_\_

Propietario: \_\_\_\_\_

Fecha y hora: \_\_\_\_\_

Cultivos	Ciclo productivo(meses)	# plantas/m <sup>2</sup>	# productos/m <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup> de productos frescos
<b>Total</b>				

**Formulario para la recopilación de datos de las mediciones en campo (m<sup>3</sup> y/o litros) de agua aplicada**

Lugar \_\_\_\_\_

Sujeto de estudio: \_\_\_\_\_

Área total de la finca en ha \_\_\_\_\_

Propietario: \_\_\_\_\_

Área total del sistema de riego (m<sup>2</sup>) \_\_\_\_\_

Fecha y hora: \_\_\_\_\_

Fecha	Mediciones	Tipo de sistema de riego	Volumen de agua (m <sup>3</sup> y/o l)	Tiempo de riego (h)	Momento y hora de aplicación
<b>Totales</b>					

**Formulario para la recopilación de datos de las mediciones en campo (kg/m<sup>2</sup>) de nitrógeno aplicado por ciclo productivo**

Lugar \_\_\_\_\_

Sujeto de estudio: \_\_\_\_\_

Área total de la finca en ha \_\_\_\_\_

Propietario: \_\_\_\_\_

Fecha y hora: \_\_\_\_\_

Tipos de abonos y fertilizantes orgánicos	Contenido de nitrógeno/m <sup>3</sup> y/o l de los abonos	Abono y fertilizantes aplicado en m <sup>3</sup> y/o l	Nitrógeno total aplicado (kg)	Nitrógeno aplicado kg peso fresco/kg N/m <sup>2</sup> de productos frescos
<b>Totales</b>				

**Formulario para la recopilación de datos de la energía utilizada para la producción de los cultivos (MJ salidas/MJ entradas).**

Lugar \_\_\_\_\_

Sujeto de estudio: \_\_\_\_\_

Área total de la finca en ha \_\_\_\_\_

Propietario: \_\_\_\_\_

Fecha y hora: \_\_\_\_\_

Tipos de energía	Cantidad de energía utilizada (kg de peso fresco/ kWh, kg y l)	Cantidad de energía utilizada por m <sup>2</sup>	Energía equivalente en MJ	Eficiencia en MJ salidas/MJ entradas/m <sup>2</sup> /año
<b>Totales</b>				

Anexo 2. Equivalentes energéticos

Cuadro12. Equivalentes energéticos de insumos y salidas en la producción de hortalizas y frutas

	<b>Equivalente de energía (unidad MJ/ha)</b>	<b>Referencias</b>
<b><i>Entradas</i></b>		
Trabajo humano (h)	1,1 y 1274,4	(Mandal <i>et al.</i> 2002; Aydın y Aktürk 2018)
Nitrógeno (kg)	60 y 6422	(Singh JM. 2002; Aydın y Aktürk 2018)
Combustible diésel (l)	56,3 y 7883,4	(Singh JM. 2002; Aydın y Aktürk 2018)
Electricidad (kWh)	14400 y 1134	(Ozkan <i>et al.</i> 2004; Aydın y Aktürk 2018)
<b><i>salidas</i></b>		
Rendimiento (kg/ha)	60032 y 28800	(Ozkan <i>et al.</i> 2004; Aydın y Aktürk 2018)

Fuente: Aydın y Aktürk (2018)