



DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i7.3887

La técnica del cultivo sin suelo y su contribución al mejoramiento
tecnológico de la agricultura bajo cubierta: Un análisis
bibliométrico.

Gloria Alexandra Ortiz Rocha

glaortizro@unal.edu.co

<https://orcid.org/0000-0002-4137-3837>

Colombia.

Stephanie Johana Numa Vergel

snuma@agrosavia.co

<https://orcid.org/0000-0003-0071-645>

Colombia.

Linda Gómez Arias

lygomez@agrosavia.co

<https://orcid.org/0000-0002-2351-5424>

Colombia.

Yeni Rodriguez Giraldo

yrodriguezg@agrosavia.co

<https://orcid.org/0000-0003-2024-8153>

Colombia.

Edwin Villagran

evillagran@agrosavia.co

<https://orcid.org/0000-0003-1860-5932>

Colombia.

RESUMEN

El uso de sistemas de cultivo sin suelo (SCS) en la agricultura bajo cubierta, se ha vuelto muy popular principalmente, porque permite la intensificación de la producción hortícola en muchas regiones del mundo. Así mismo este tipo de sistemas de cultivo, generan algunos beneficios productivos, sociales y ambientales, características que son cada vez más demandas y buscadas en la agricultura, bajo el escenario actual de aumento poblacional y crisis ambiental. Los SCS en Latinoamérica no se han implementado de forma masiva por los productores, debido a diversos factores sociales y económicos. Sin embargo, la agricultura bajo invernadero establecida en suelo natural es altamente vulnerable, debido a la pérdida de calidad física y química del suelo donde se establece el invernadero y a su vez por el ataque más frecuente y severo de plagas y enfermedades que tienen su origen en el suelo. Por lo tanto, una de las alternativas tecnológicas que se deben explorar a nivel local y regional es el uso de SCS. Para esto es necesario contar con la mayor cantidad información posible sobre esta temática en general. El objetivo de este trabajo consistió en desarrollar un análisis bibliométrico de la información científica disponible a la fecha en SCS bajo invernadero enfocados a la horticultura en general. Los resultados encontrados arrojaron que existen 120 documentos científicos generados desde 1998 a 2022 por un total de 160 autores, los documentos provienen principalmente de países como Holanda, Estados Unidos e Italia, entre las tendencias de investigación relevantes en SCS se encuentran temas asociados al uso eficiente del agua y fertilizantes, el control automático del riego y la evaluación del impacto ambiental de esta tecnología.

Palabras clave: horticultura, hidroponía, acuaponía, sustrato solución nutritiva, sostenibilidad.

Correspondencia: lygomez@agrosavia.co

Artículo recibido: 13 noviembre 2022. Aceptado para publicación: 13 diciembre 2022.

Conflictos de Interés: Ninguna que declarar

Todo el contenido de **Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar**, publicados en este sitio están disponibles bajo

Licencia [Creative Commons](#) 

Como citar: Ortiz Rocha, G. A., Numa Vergel, S. J., Gómez Arias, L., Rodríguez Giraldo, Y., & Villagran, E. (2022). La técnica del cultivo sin suelo y su contribución al mejoramiento tecnológico de la agricultura bajo cubierta: Un análisis bibliométrico. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(6), 7053-7074.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i7.3887

Soilless cultivation technique and its contribution to the technological improvement of agriculture under cover: A bibliometric analysis.

ABSTRACT

The use of soilless cropping systems (SCS) in cover crop agriculture has become very popular mainly because it allows the intensification of horticultural production in many regions of the world. Likewise, this type of cropping system generates some productive, social, and environmental benefits, characteristics that are increasingly demanded and sought after in agriculture, under the current scenario of population increase and environmental crisis. SCS in Latin America have not been massively implemented by producers, due to various social and economic factors. However, greenhouse agriculture established in natural soil is highly vulnerable, due to the loss of physical and chemical quality of the soil where the greenhouse is established and, in turn, due to the more frequent and severe attack of pests and diseases that originate in the soil. Therefore, one of the technological alternatives to be explored at the local and regional level is the use of SCS. For this, it is necessary to have as much information as possible on this topic in general. The objective of this work was to develop a bibliometric analysis of the scientific information available to date on greenhouse SCS focused on horticulture in general. The results showed that there are 120 scientific papers generated from 1998 to 2022 by a total of 160 authors, the documents come mainly from countries such as the Netherlands, the United States and Italy, among the relevant research trends in SCS are topics associated with the efficient use of water and fertilizers, automatic irrigation control and the evaluation of the environmental impact of this technology.

Keywords: horticulture, hydroponics, aquaponics, substrate nutrient solution, sustainability.

INTRODUCCIÓN

La escasez de agua, la disminución de tierras cultivables, el aumento de la población en zonas urbanas y periurbanas, así como la alta vulnerabilidad de los sistemas de producción alimentos ante el cambio climático, retan y ejercen una presión extra sobre los productores agrícolas (Gruda, 2019). Por lo tanto, en muchas regiones del mundo una de las prácticas de cultivo que se ha logrado expandir como respuesta a estas demandas técnicas, sociales y climáticas, es el sistema de cultivo sin suelo (SCS), el cual se ha convertido en un método altamente productivo y sostenible (Hong & Gruda, 2020). Bajo este tipo de sistemas de cultivo se producen hortalizas, frutas, aromáticas, plantas ornamentales y medicinales (Gruda, 2021). La tecnología SCS promueve un aumento de los rendimientos y de la calidad nutricional de los productos cosechados e incluso en comparación con la producción a campo abierto se logran algunos beneficios ambientales (Salinas-Velandia et al., 2022).

Las hortalizas y los cultivos ornamentales son productos que pueden considerarse como básicos para muchas familias, ya sean por un interés estético o nutricional, por lo tanto, los SCS han cobrado un gran interés para ser implementados en la producción de este tipo de especies (Savvas & Gruda, 2018). Dentro de los atributos que han ayudado a que este tipo de sistemas de cultivo tengan en la actualidad un gran auge, se puede mencionar; la versatilidad para permitir la producción en ambientes urbanos y de agricultura vertical conocidos como proyectos verdes, la intensificación de la producción por unidad de área y la alta eficiencia en el uso de los recursos de agua y fertilizantes, factor que aportan a la sostenibilidad del sistema productivo (Gruda, 2021). Sin embargo, a medida que ha aumentado el interés en este tipo de sistemas de cultivo, así mismo incrementan las demandas de investigación en este tipo de tecnologías (Gruda & Fernández, 2022).

La técnica SCS, originalmente fue utilizada para referirse exclusivamente a cultivos que se establecían en soluciones nutritivas y sin la presencia de ningún tipo de sustrato o medio de cultivo de soporte, con técnicas como la hidroponía, acuaponía y aeroponía (Gruda, 2021). Sin embargo, con el transcurrir de los años esta técnica usada para producir alimentos principalmente bajo invernadero fue incluyendo también a los sistemas que usan algún tipo de material sólido, ya sean sustratos de origen orgánico o inorgánico. Así mismo en muchas regiones del mundo a este tipo de sistemas de cultivo, se les denomina cultivos hidropónicos y dentro de esta técnica de producción, se debe mencionar que existen dos tipos de sistemas, abiertos y cerrados. Los sistemas abiertos se caracterizan por aplicar mediante fertirriego la solución nutritiva una solo vez, por lo tanto, el drenaje de dicha solución no es reciclado para ser aplicado

a las plantas nuevamente, siendo este el factor diferencial en los sistemas cerrados donde por el tipo de manejo y reutilización de la solución nutritiva, se logra una mayor eficiencia en el uso del agua y los fertilizantes y a su vez se genera una menor carga de impacto ambiental negativo (Savvas & Gruda, 2018).

El porcentaje de SCS en el área total de cultivo protegido de horticultura comercial varía entre las diferentes regiones del mundo. Se sabe que, en Holanda y España, el cultivo sin suelo representa el principal sistema de cultivo utilizado bajo invernadero (Di Lorenzo et al., 2013). En Canadá y Estados Unidos el 95% de los tomates cultivados bajo invernadero son cultivados en SCS (Peet & Welles, 2005). Así mismo en la mayoría de estos países, que tienen condiciones de clima severas, predominan el uso de invernaderos de alta tecnología equipados con sistemas de climatización donde se pueden controlar todas las variables micro climáticas lo cual ayuda a maximizar la producción de los cultivos establecidos (Villagrán et al., 2022).

A nivel de Latinoamérica y el caribe la agricultura bajo invernadero a excepción de algunas áreas de Brasil y México, se caracterizan por ser de bajo nivel tecnológico, por lo tanto, los SCS no son muy comunes en nuestra región (Rocha et al., 2021). Entonces es muy relevante poder contar con la información científica de esta área del conocimiento, con el objetivo de identificar tendencias de implementación de tecnología y manejo, instituciones y autores líderes y expertos en SCS, así como los beneficios productivos, ambientales y sociales de esta tecnología. En los últimos años una de las estrategias usadas para recopilar la información científica de cualquier área del conocimiento, es la bibliometría (Morante-Carballo et al., 2021). Estos análisis permiten identificar factores cualitativos y cuantitativos de la red de conocimiento, facilita la identificación de publicaciones, autores e instituciones de alto impacto que son frecuentemente citadas en las bases de datos académicas. Por último, es posible evaluar la popularidad de las publicaciones entre los especialistas del área del conocimiento y verificar la reputación de un autor específico (Donthu et al., 2021).

METODOLOGÍA

Para el desarrollo del este trabajo, se formuló una metodología de búsqueda organizada y estructurada, con el objetivo de realizar un análisis bibliométrico de las investigaciones relacionadas con el uso de técnicas de cultivo sin suelo (SCS) en producción bajo invernadero. La búsqueda de información tiene como objetivo principal poder determinar las relaciones científicas y los hallazgos destacables en esta temática de investigación. En este estudio se aplicó un proceso sistemático conformado por cuatro fases que permiten desarrollar el análisis de la producción científica: (1) definición de palabras clave y criterios de búsqueda; (2) selección de bases de datos, búsqueda inicial y compilación de documentos; (3) descarga y control de calidad

de datos, selección de softwares de análisis y generación de gráficos, finalmente (4) el análisis de los resultados.

DEFINICIÓN DE PALABRAS CLAVE Y CRITERIOS DE BUSQUEDA

Para el planteamiento de la ecuación de búsqueda se definieron palabras claves, enfocadas a la temática del cultivo sin suelo en horticultura y floricultura, obteniendo la siguiente ecuación:

(TITLE-ABS-KEY ("greenhouse" AND ("soilless cultivation" or "substrate culture" or (1) "hydroponics" or "vertical farming") AND ("horticulture" or "floriculture")))

El periodo de búsqueda, países, tipo e idioma del documento, así como las áreas del conocimiento no fueron limitadas a ningún criterio, por lo tanto, este patrón de búsqueda debe permitir capturar la mayor cantidad de información publicada sobre la temática investigación.

SELECCIÓN DE BASES DE DATOS

Se seleccionó Scopus como la base de datos académica para la búsqueda de información, debido a su amplia cobertura en la mayoría de los campos del conocimiento, las facilidades de acceso, visualización y descarga de datos, además que es la base de datos más consultada y utilizada en el desarrollo de estudios bibliométricos (Visser et al., 2021).

DESCARGA DE DATOS, SELECCIÓN DE SOFTWARE Y GENERACION DE GRAFICOS

Los resultados obtenidos de la búsqueda fueron descargados en archivos formato CSV (valores separados por comas), y cuentan con el detalle numérico de la información bibliográfica y científica de interés. Para el análisis de los datos obtenidos y descargados se utilizaron tres softwares: por un lado, el software Microsoft Excel permitió el preprocesamiento y análisis de calidad de los datos descargados, con lo cual se garantiza la limpieza y eliminación de errores de sintaxis o documentos duplicados (Najmi et al., 2017). Mientras que para el análisis de la base de datos generada en el paso anterior se usó el software libre Vosviewer y el software R con su paquete Bibliometrix, estos programas permiten realizar el análisis de la estructura intelectual de un campo académico a través de la construcción y visualización de redes de coautoría y citación (Limaymanta et al., 2020).

ANALISIS DE LA INFORMACIÓN

En este estudio, se hace énfasis principal en factores que caracterizan el desarrollo científico de un área del conocimiento, por lo tanto, se analizan, la producción científica anual, el tipo de documentos publicados, el enfoque de los documentos hacia áreas de conocimiento en particular, las redes de coautoría, las redes de citación, los artículos más prolíficos en la consecución de citas, los tópicos de investigación relevantes y algunos otros gráficos de análisis que son fundamentales a la hora de realizar un estudio bibliométrica y que permiten generar la estructura intelectual de la producción científica (Abad-Segura et al., 2019; Cobo et al., 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

PRODUCCIÓN CIENTÍFICA

La búsqueda arrojó documentos publicados del periodo comprendido entre 1998 y 2022. En total se recopilaron 120 documentos relacionados con la temática de investigación, lo que equivale a un valor medio de 6.62 documentos generados por año (Figura 1). Se destaca como el año de mayor cantidad de documentos publicados el 2021 con un total de 17, seguido de los años 2017 y 2019, con 12 y 11 documentos, respectivamente. Así mismo se puede observar que durante los 5 primeros años la cantidad de artículos no superó los tres (3) documentos, lo cual pudo estar influenciado por el poco interés por la sostenibilidad y la intensificación de la producción de alimentos que existía en los primeros años de la década del 2000. Por el contrario, en el último quinquenio la producción académica ha sido más dinámica y el número de publicaciones ha superado los nueve (9) documentos por año, esto quizás influenciado, por el interés general que existe, por obtener una mayor producción de alimentos, con criterios de sostenibilidad, por los cambios en la agricultura y por las nuevas alternativas de producción.

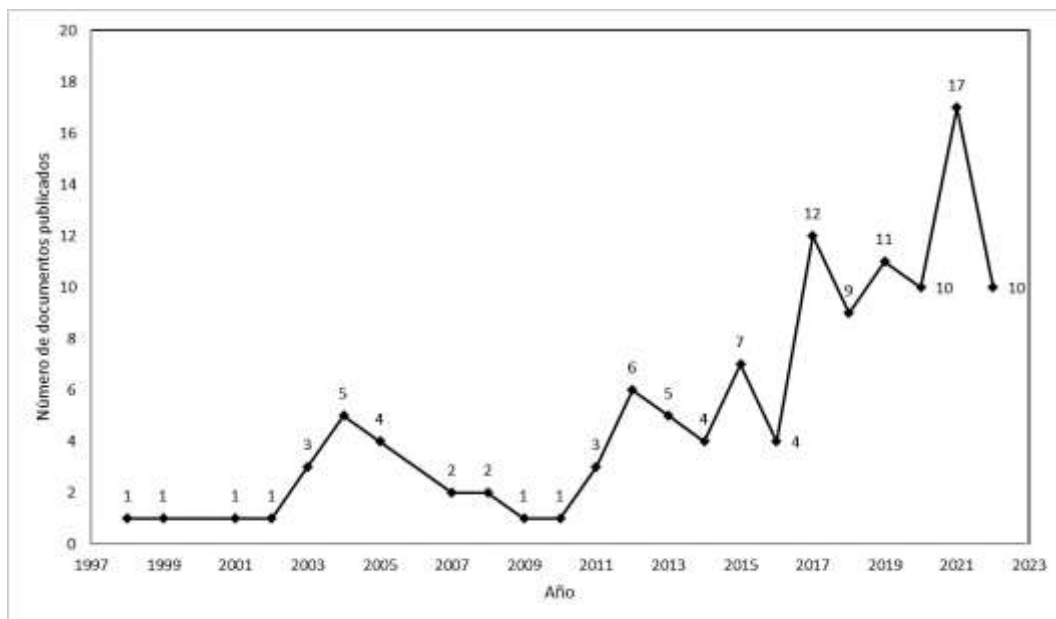


Figura 1. Producción científica por año.

TIPOLOGÍA DE DOCUMENTOS PUBLICADOS

En cuanto a la tipología de documentos publicados, es de resaltar que predominan los documentos tipos de artículo con un total de 76, este valor equivale al 63.3% de la totalidad de documentos recopilados. Este comportamiento es típico en muchas ramas y disciplinas de la ciencia, puesto que muchos investigadores y docentes, prefieren la divulgación académica en documentos tipo artículo, ya que son considerados como un medio rápido y prestigioso de difusión de conocimiento, donde además se pueden conseguir múltiples citas a futuro del artículo publicado (Rocha et al., 2022). En una segunda línea de importancia se encontró que

están los documentos de sesión con el 25% de la totalidad de documentos recopilados. Los documentos de sesión son generados en las presentaciones orales, ponencias o posters que se presentan en eventos de divulgación social del conocimiento, como lo son los simposios o congresos. Cabe resaltar que muchos de estos trabajos que son allí inicialmente divulgados, posteriormente con un análisis más profundo y una descripción robusta de la metodología pueden ser publicados como artículos de investigación (Carrión-Mero et al., 2021). Por último, se encontraron capítulos de libro, libros, artículos de revisión y editorial con valores inferiores al 3.3% cada uno del total de documentos recopilados (Figura 2).

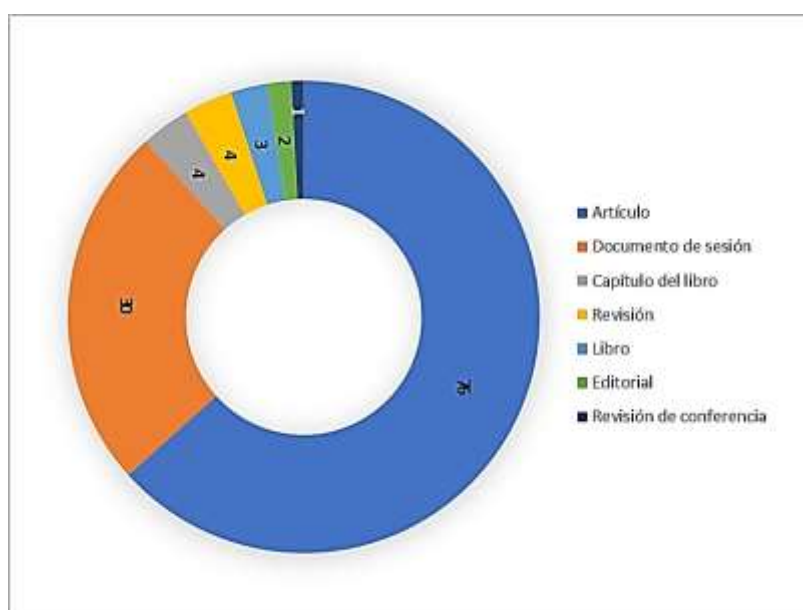


Figura 2. Tipos de documentos publicados.

ÁREA TEMÁTICA

En cuanto al área temática los documentos muestran una clara tendencia a ubicarse en el área de ciencias agrícolas y biológicas, allí es posible ubicar 96 de los documentos recopilados, que equivalen al 80% del total de documentos. Lo anterior puede estar influenciado a que muchas de las investigaciones en esta área del conocimiento, están relacionadas con estudios enfocados al manejo agronómico de los cultivos y a la caracterización fisiológica de pre cosecha y post cosecha de las diversas especies cultivadas bajo sistemas SCS (Gruda, 2019). En una segunda línea se encuentran los estudios relacionados con ciencias medioambientales, donde se identifican 20 estudios que equivalen al 16.6% de la totalidad de documentos analizados. Los estudios de esta área se enfocan en determinar los componentes de impacto ambiental de este tipo de sistemas de producción mediante análisis de ciclo de vida (LCA).

Los LCA permiten realizar la clasificación de diversos componentes de la tecnología de los SCS, a partir de la cuantificación de su impacto ambiental, con el fin de definir su aplicación como "tecnología verde" para la producción agrícola (Gruda et al., 2019).

Otra área temática relevante es la de la ingeniería, en ésta se ubican un total de 13 documentos, que equivalen al 10.8% de la totalidad de documentos. Estos estudios en el área de ingeniería están enfocados al diseño de los sistemas de fertirrigación y los sistemas de reutilización de soluciones nutritivas y a la optimización de las técnicas de desinfección para el reusó de los medios de cultivo, en esta área también se ubican estudios que buscan generar el mejoramiento de las condiciones micro climáticas de los invernaderos usados para la producción (Rocha et al., 2021). Para finalizar se debe mencionar que, para los 120 documentos recopilados, estos pueden ubicarse en un total de 18 áreas temáticas, cabe mencionar que hay documentos que tienen un enfoque multidisciplinario por lo tanto pueden ubicarse en varias de estas áreas (Figura 3).

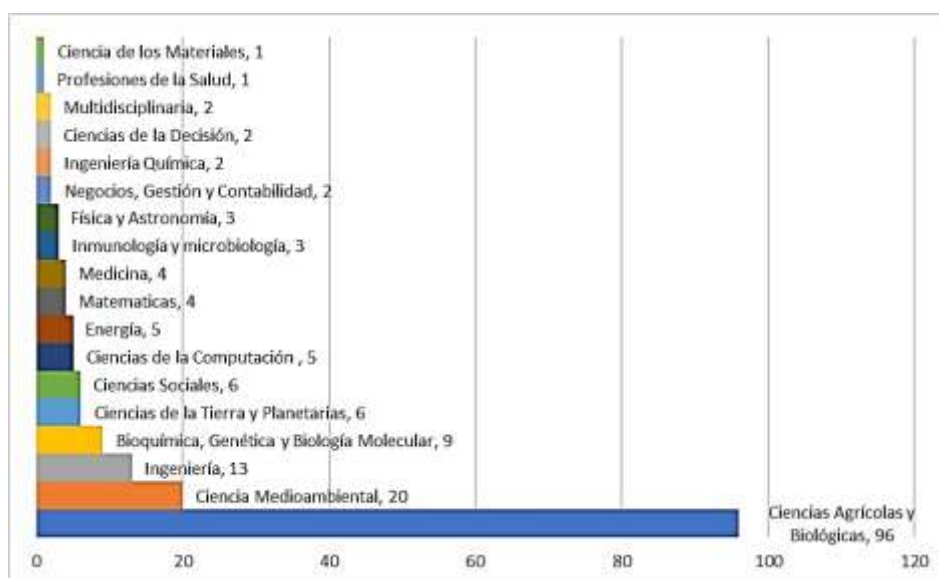


Figura 1. Áreas temáticas de los documentos publicados recopilados.

REDES DE COAUTORÍA

RED COAUTORIA POR INSTITUCIONES

El nodo central de la red de coautoría por instituciones lo ocupa la Universidad de Wageningen de Holanda. Esta universidad cuenta con el grupo de investigación más robusto y prestigioso en agricultura protegida a nivel mundial y sus trabajos de investigación y transferencia de tecnología se desarrollan en múltiples países, así mismo los investigadores de este grupo de investigación provienen de diferentes países. En esta red principal se asocian 24 instituciones de un total de 162 instituciones que presentan autoría en los 120 documentos recopilados, estas 24 instituciones se relacionan a través de 34 enlaces y una fuerza total de enlace de 36 (Figura 4). Otra institución relevante es la Universidad de Humboldt en Alemania, que constantemente realiza investigaciones que tienen el objetivo principal de buscar un sustrato alternativo a la lana de roca

o turba, que son dos de los tipos de sustratos más usados en la unión europea y en otras regiones del mundo, pero que genera por su uso serios problemas medioambientales (Nerlich et al., 2022).



Figura 2. Red de coautoría entre instituciones.

RED DE COAUTORIA POR PAISES

En esta red de coautoría se logran identificar 5 clústeres, el más relevante el clúster morado, donde se relacionan Estados Unidos, Grecia, Holanda en conjunto estos países aportan 28 documentos, el clúster está relacionado con 29 enlaces y una fuerza de enlace de 36 (Figura 5). En el clúster verde relaciona a Canadá, Islandia y Alemania con 18 documentos aportados. En cuanto al clúster amarillo se identifica la relación de coautoría que hay entre autores de Holanda y Bélgica con 15 documentos y finalmente para el clúster rojo se identifica una relación entre autores de España e Italia con 12 documentos entre investigadores de estos países.

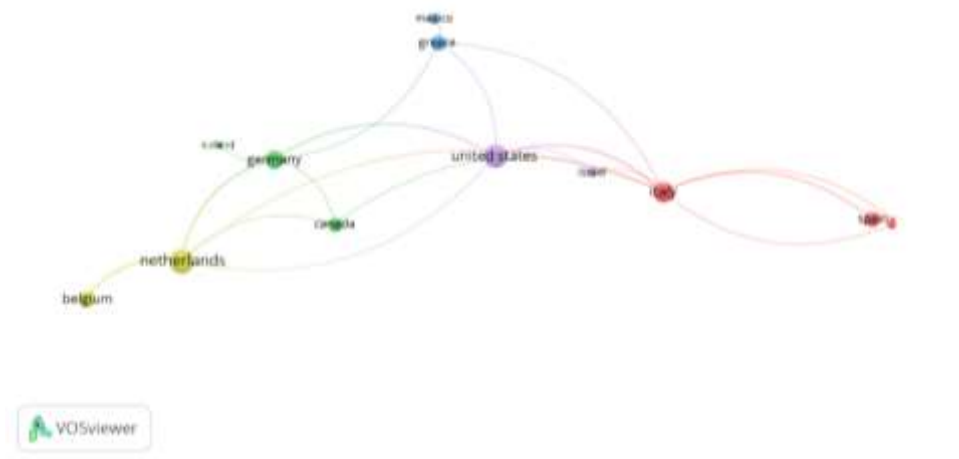


Figura 3. Red de coautoría por países.



Figura 4. Origen de la producción científica por países.

En cuanto al origen de los 120 documentos recopilados, se lograron identificar 39 países con producción científica asociada a la temática del SCS en agricultura protegida (Figura 6). Para resaltar la producción científica originada en Holanda, Estados Unidos, Italia y Alemania donde en conjunto estos países aportaron el 50.8% de la totalidad de documentos recopilados en el periodo de análisis. A nivel de Suramérica y Centroamérica, sobresalen Brasil y México con 5 y 4 publicaciones, respectivamente que en conjunto equivalen a un 7.5% de la producción científica mundial en esta temática.

PALABRAS CLAVES PRINCIPALES; USO Y COOCURRENCIA

El diagrama de árbol (Figura 7), muestra que la palabra clave más usada es “horticulture”, con 40 ocurrencias en los documentos; seguido por “hydroponics”, “cultivation”, “lycopersicon esculentum”, “greenhouses” y “nutrients” con 37, 19, 13, 12 y 11 ocurrencias respectivamente. Lo anterior permite evidenciar que esta temática de investigación se enfoca fuertemente en la horticultura en sistemas hidropónicos y bajo invernadero, donde el cultivo de tomate y otras hortalizas son los productos más cosechados e investigados a nivel mundial. En cuanto a los SCS, se destacan temas relacionados el aporte de nutrientes y las investigaciones enfocadas a mejorar su uso y reducir el impacto ambiental negativo que estos causan dentro de la agricultura.



Figura 5. Diagrama de árbol de palabras clave utilizados por los autores.

Dentro de estos tópicos de investigación se resaltan también los trabajos cada vez más frecuentes donde se aplican enmiendas de quitina “chitin” con el fin mejorar el rendimiento de los cultivos establecidos en sustratos reutilizados (Gage et al., 2021). Así mismo se observan temas de nitrificación “nitrification” palabra que fue usada 9 veces y que está ligada al proceso, que se realiza en sistemas acuapónicos, donde algunas bacterias aportadas al medio de cultivo tienen la capacidad de convertir los residuos de la producción de peces, que ingresan al sistema principalmente como amoníaco, en nitrato, que es un fertilizante que pueden utilizar las plantas sembradas en acuaponía (Quispe et al., 2018).

Así mismo se construyó la Red de coocurrencia de palabras clave contemplando aquellas que al menos presentaran cinco (5) ocurrencias en la información analizada (Figura 8). Las palabras claves principales y que están ubicadas en la región central de la red de coocurrencia son nuevamente hidroponía y horticultura, tópicos principales en los SCS. Esta red palabras clave permite representar gráficamente la estructura intelectual de la producción científica en la temática de análisis (Carrión-Mero et al., 2021). En esta red se identificaron cinco (5) clústeres, el clúster rojo agrupa los trabajos donde se estudian las respuestas fisiológicas y el crecimiento de cultivos, como tomate y pepino de ensalada, así mismo en este clúster se relaciona la producción

de los cultivos y su impacto ambiental, integrando en el análisis ambiental el aporte de las actividades relacionadas con el control climático de los invernaderos.

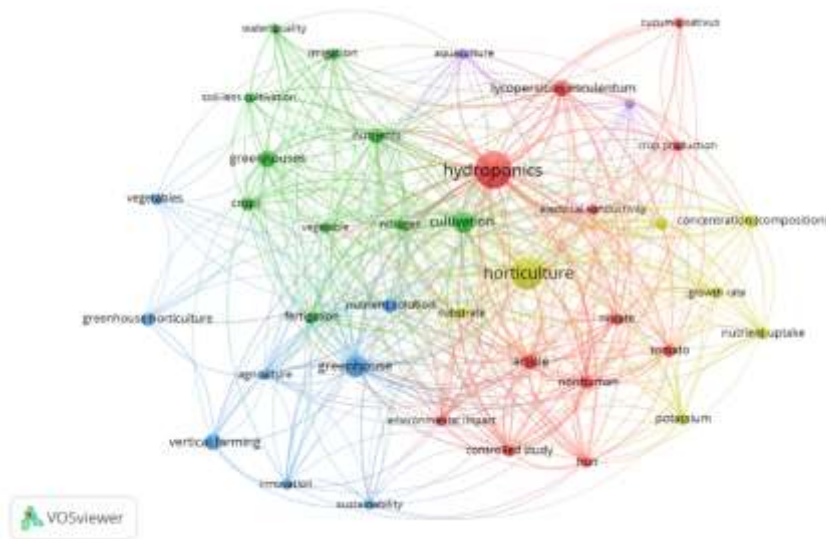


Figura 6. Red principal de coocurrencia de palabras clave.

En el clúster azul se relacionan los trabajos que investigan en nuevas tendencias de producción como son las fincas verticales, también se incluyen estudios que realizan la evaluación de estrategias innovadoras en el manejo del riego y de las soluciones nutritivas, estas evaluaciones incluyen dentro del análisis el componente de sostenibilidad, que despierta mucho interés en los investigadores desde el año 2015, cuando se establecieron metas más ambiciosas en los objetivos de desarrollo sostenible para todos los países (Limaymanta et al., 2020). En el clúster amarillo se deben destacar los estudios enfocados a sistemas de cultivo que involucran el uso de sustratos y su relación productiva a medida que el sustrato va perdiendo su calidad, debido a la contaminación que pueden generar las soluciones nutritivas reutilizadas y aplicadas por medio del fertirriego.

Por el contrario, en el clúster morado se relacionan los trabajos que incluyen el análisis de sistemas de cultivo basados en acuaponía, donde algunas de las demandas de investigación están relacionadas con las técnicas de fertirrigación. Para finalizar en el clúster verde se incluyen todos aquellos trabajos donde se analizan factores clave para la producción en diversos SCS bajo invernadero, como lo son la calidad del agua de riego, la optimización de las técnicas de riego y fertirriego, así como el aprovechamiento del nitrógeno en cultivos de diversas especies vegetales.

DOCUMENTOS MÁS CITADOS

En cuanto a los 10 documentos más citados, se encontró que este número de citaciones oscilan entre valores de 190 y 35 para documentos que se generaron entre el año el año 2002 y 2020

(Tabla 1). El trabajo más citado fue el desarrollado por Eigenbrod & Gruda. (2015), donde los autores realizaron una revisión sobre aspectos relevantes en diferentes sistemas de cultivo urbano en todo el mundo. Los resultados reportados indicaron que la horticultura urbana aumento a nivel mundial de forma importante con reportes de rendimientos de hasta 50 kg de producto por m², además las cifras muestran que existen por lo menos 100 millones de personas involucradas a nivel global en este tipo de sistemas de producción, todo lo anterior ha contribuido de alguna forma a mejorar la seguridad alimentaria de las regiones. El segundo documento más citado es el desarrollado por Bantis et al. (2018), donde los autores reportaron el estado actual y logros recientes en el campo de la horticultura en ambientes protegidos y en SCS, reforzada tecnológicamente con el uso de diodos emisores de luz (LED), como alternativa de suplemento de luz, con el fin de optimizar la producción intensiva de hortalizas.

El documento que ocupa el tercer nivel en número de citas es el documento más antiguo, en este artículo los autores se plantearon el objetivo de describir y comparar cinco métodos diferentes de control de enfermedades en SCS, estos métodos de desinfección se basan en; aplicación de calor, filtración, manejo químico, irradiación y manejo con principio de control biológico, métodos con los cuales se busca mantener la calidad de la solución nutritiva usada en el fertirriego. En el trabajo desarrollado por Kloas et al. (2015), se propone un sistema de producción acuapónico basado en la producción integrada de peces y tomate, los autores reportan que este tipo de sistema permite aumentar la sostenibilidad de los modelos de producción acuapónicos, algo que se sigue reafirmando en la actualidad como una de las principales estrategias para lograr la circularidad de la horticultura protegida (Salinas-Velandia et al., 2022).

En el quinto y sexto documento se destacan y discuten nuevas tecnologías como la hidroponía, el control informático de los entornos (invernaderos) y los procedimientos matemáticos avanzados para la optimización microclimática y ambiental de los SCS. Así mismo se hace una referencia sobre la importancia de la agricultura sin suelo y el uso de los principales sustratos como los son la lana de roca, la turba y la fibra de coco. En el séptimo documento los autores, compararon dos métodos para controlar el suministro de nutrientes a las plantas de melón en invernadero cultivado con la técnica de película de nutrientes, los resultados arrojaron que el nuevo método propuesto logro reducir el consumo de agua en un 60%, respecto al método convencional de control de la conductividad eléctrica. En el artículo número ocho, se estudió el efecto de la recirculación de la solución nutritiva en el rendimiento y la calidad de la producción de rosas bajo invernadero, los resultados arrojaron que la recirculación generaba inconvenientes

productivos en el cultivo durante su ciclo productivo, concluyendo, además, que este tipo de sistemas de cultivo necesitaban de una optimización tecnológica.

Para finalizar el artículo desarrollado por Goddek & Körner. (2019), muestra el avance tecnológico que han tenido los sistemas acuapónicos integrados para la producción de peces y vegetales. En este estudio se muestran los resultados de un modelo de simulación que permite dimensionar estas explotaciones acuapónicas bajo diferentes entornos de operación. Así mismo Massa et al. (2020), realizan un estudio donde demuestran que las pérdidas de agua y nutrientes pueden minimizarse mediante la combinación de tecnologías de detección y estrategias de suministro de nutrientes que permitan lograr el objetivo de "emisiones cero" en SCS.

Tabla 1. Top 10 de los artículos más citados.

ID	Título	Citaciones	Referencia
1	Urban vegetable for food security in cities. A review.	190	(Eigenbrod & Gruda, 2015).
2	Current status and recent achievements in the field of horticulture with the use of light-emitting diodes (LEDs).	173	(Bantis et al., 2018).
3	Disinfestation of recirculating nutrient solutions in greenhouse horticulture.	128	(D. Ehret et al., 2001).
4	A new concept for aquaponic systems to improve sustainability, increase productivity, and reduce environmental impacts.	101	(Kloas et al., 2015).
5	Greenhouses: Advanced technology for protected horticulture.	49	(Hanan, 2017)
6	Significance of soilless culture in agriculture.	42	(Raviv et al., 2008).
7	A comparison between two methods to control nutrient delivery to greenhouse melons grown in recirculating nutrient solution culture.	40	(Pardossi et al., 2002).
8	Production and quality of greenhouse roses in recirculating nutrient systems.	38	(D. L. Ehret et al., 2005).
9	A fully integrated simulation model of multi-loop aquaponics: A case study for system sizing in different environments.	35	(Goddek & Körner, 2019).
10	Minimizing water and nutrient losses from soilless cropping in southern Europe.	35	(Massa et al., 2020).

AUTORES CON MAYOR NÚMERO DE PUBLICACIONES

Los 120 documentos fueron generados por un total de 160 autores de diferente nacionalidad. En la se muestra los 5 autores que cuentan con un mayor número de publicaciones en esta temática, en general estos autores ocupan el cargo de profesor o investigador en universidades o centros de investigación de la unión europea (Tabla 2). Del mismo modo estos autores son reconocidos en la temática de investigación y tienen índices de citación de impacto superiores a 15, lo que indica que sus trabajos son reconocidos y referentes para el área del conocimiento.

Tabla 2. Autores con mayor número de publicaciones.

Autor		Cargo	H-index	N°. Citas
Karl Bergstrand	4	Profesor	15	642
Jane Debode	4	Investigadora	24	1560
Luca Incrocci	4	Profesor	29	2750
Alberto Pardossi	4	Profesor	40	4883
Bart Vandecasteele	4	Investigador	34	4836

DOCUMENTOS PUBLICADOS POR FUENTE

En cuanto a las fuentes de publicación se identificaron un total de 54 revistas académicas donde fueron publicados 110 de los documentos recopilados (Tabla 3). Para resaltar el aporte de documentos que se publicaron en la revista *Acta Horticulturae* que con 31 documentos lidera la producción por fuente académica, esta revista es multidisciplinar y publica todos los documentos presentados y aceptados en congresos y simposios realizados por la Sociedad Internacional de Ciencias Hortícolas (ISHS) con sede en Bélgica. En cuanto a revistas por país la lista la lideran Holanda y Suiza con 3 revistas cada una, por lo que Holanda vuelve a mostrarse como un líder también en la divulgación de conocimiento.

De otro lado, la revista líder en H-Index, que es un índice de citas de la revista sobre el total de documentos publicados, es liderado por la revista *Science of the Total Environment*, esta es una revista multidisciplinaria de ciencias naturales para la publicación de investigaciones novedosas y de alto impacto para la protección del medio ambiente, lo cual ratifica que las investigaciones de esta área del conocimiento están enfocándose e interesadas en la sostenibilidad. Por ultimo y no menos importantes 7 de las revistas listadas están dentro del cuartil 1, lo que significa que son revista de alto impacto para el área del conocimiento.

Tabla 3. Top 10 de revistas con mayor número de publicaciones.

Revista.	N°. Documentos.	Ranking SRJ.	H-index.	País.
Acta Horticulturae	31	Q ₄	63	Belgica
Scientia Horticulturae	15	Q ₁	123	Holanda
Hortscience	4	Q ₂	94	Estados Unidos
Agricultural Water Management	3	Q ₁	139	Holanda
Frontiers In Plant Science	2	Q ₁	155	Suiza
Horticulturae	2	Q ₁	21	Suiza
Journal Of Cleaner Production	2	Q ₁	231	Reino Unido
Ornamental Horticulture	2	Q ₃	9	Brasil
Science Of The Total Environment	2	Q ₁	275	Holanda
Sustainability	2	Q ₁	109	Suiza

PUNTOS CRÍTICOS DE INVESTIGACIÓN

La estructura conceptual de los tópicos de investigación se muestra en la Figura 9, este grafico se construye a través de las palabras clave y su interacción en redes. En el eje “x” del grafico esta la centralidad, que mide el grado de interacción de una red con otras redes, mientras que en el eje “y” está la densidad que es una medida de la fuerza interna de una red (Zehra & Urooj, 2022). Los tópicos del cuadrante superior derecho son temas relevantes bien desarrollados con una estructura de relación fuerte entre ellos, allí se destacan los temas del análisis de crecimiento y las tasas de crecimiento y su relación con el nitrógeno uno de los fertilizantes de mayor complejidad de manejo en sistemas SCS. Por otro lado, en el cuadrante inferior derecho se ubican los tópicos básicos que tienen una alta relevancia, pero un desarrollo del campo de la investigación estable, allí se destacan los temas asociados a la producción de tomate en SCS y

bajo invernadero, este cultivo sin lugar a dudas es uno de los más estudiados a nivel mundial año tras año.

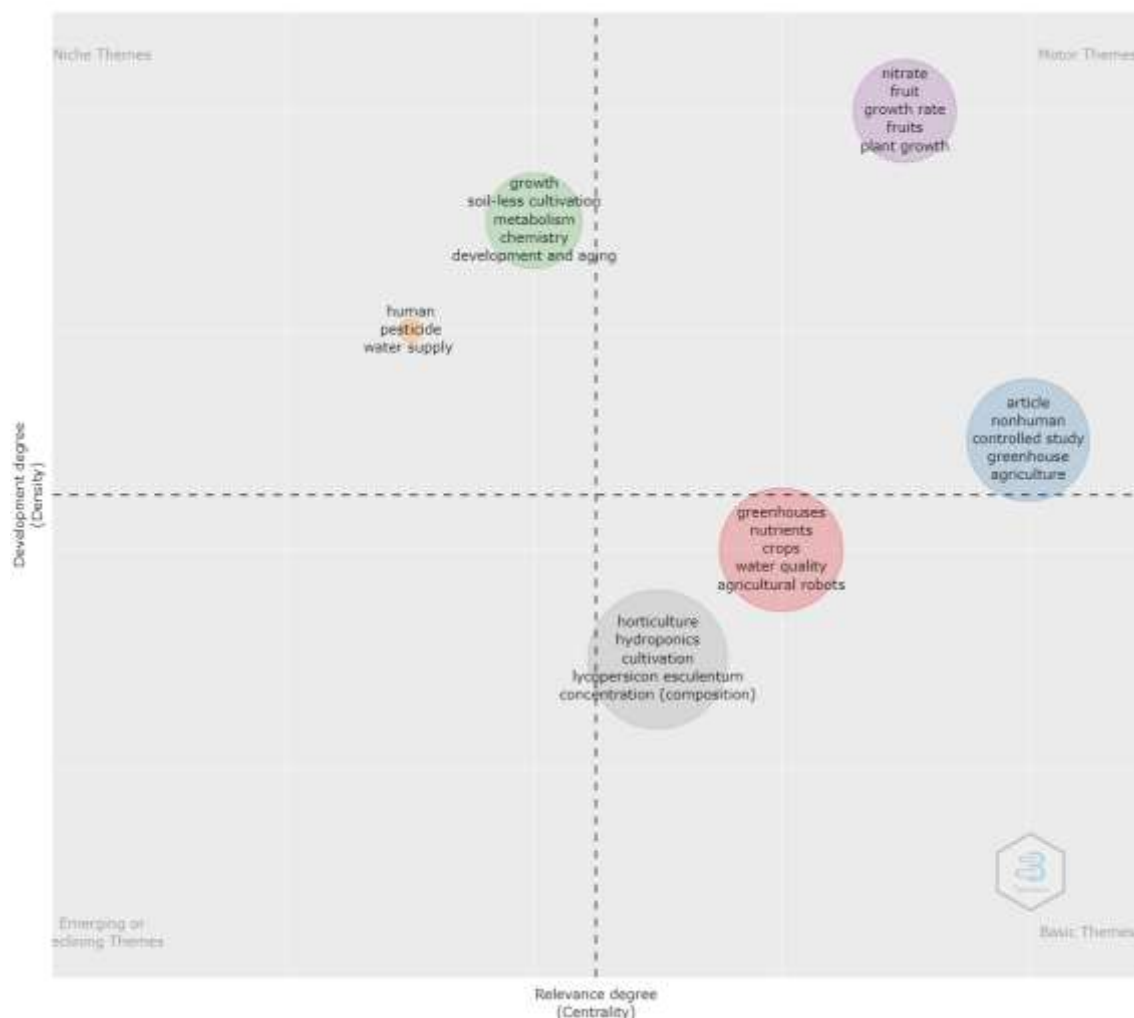


Figura 9. Tópicos relevantes de investigación.

Para finalizar los tópicos nicho que se ubican en el cuadrante superior izquierdo, son temas de alta importancia investigativa, pero que aún no cuenta con un nivel de relevancia en la temática general de investigación, allí se identifican temas asociados al suministro de agua y el efecto de los pesticidas en la salud humana, tópicos que van ganando relevancia, ya que productores, tomadores de decisión, pero principalmente consumidores están cada día más preocupados por su alimentación, incluso muchos de ellos están inmersos en hábitos de vida saludable.

CONCLUSIONES

La técnica del cultivo sin suelo establecidos bajo invernadero y enfocados a la horticultura pueden ser considerados como una tecnología de intensificación de la producción de alimentos que puede ser implementada en cualquier región del mundo, con el fin de buscar beneficios

productivos, sociales y ambientales, contribuyendo al mejoramiento tecnológico de la agricultura. Los factores claves para tener presente, al momento de implementar esta tecnología, son el tipo de sistema de cultivo a seleccionar, ya sea en sustrato, hidroponía, acuaponía o aeroponía, esto influirá en el manejo agronómico y cultural que se debe realizar posteriormente al cultivo establecido. En cuanto al sistema de aplicación de agua y fertilizantes y en busca de una mayor eficiencia con el uso de los recursos y un menor impacto ambiental, se recomienda usar sistemas cerrados de aplicación que permitan reutilizar agua y fertilizantes.

El análisis bibliométrico permitió identificar que existen 120 documentos científicos enfocados al estudio de SCS, estos documentos provienen de Holanda, Estados Unidos e Italia, cada uno de estos países aportó un 15.8, 14.1 y 11.6%, respectivamente del total de los documentos. La institución líder y referente en la investigación de esta tecnología es la Universidad de Wageningen de Holanda, seguida de la Universidad de Humboldt de Alemania, estas instituciones realizan investigaciones en temas asociados a innovación en nuevos tipos de sustratos, búsqueda de alternativas de ahorro de agua y fertilizantes y recientemente están incursionando en la optimización total de los SCS en búsqueda de mejorar la sostenibilidad de los sistemas productivos establecidos bajo esta tecnología.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria—AGROSAVIA por el apoyo técnico en la realización de esta investigación. Este estudio fue financiado por el Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación de Colombia—MINCIENCIAS a través del proyecto denominado “*Fortalecimiento de las capacidades de I + D + i del centro de investigación Tibaitatá para la generación, apropiación y divulgación de nuevo conocimiento como estrategia de adaptación al cambio climático en sistemas de producción agrícola ubicados en las zonas agroclimáticas del trópico alto colombiano*”.

LISTA DE REFERENCIAS

- Abad-Segura, E., Cortés-García, F. J., & Belmonte-Ureña, L. J. (2019). The sustainable approach to corporate social responsibility: A global analysis and future trends. *Sustainability*, 11(19), 5382.
- Bantis, F., Smirnakou, S., Ouzounis, T., Koukounaras, A., Ntagkas, N., & Radoglou, K. (2018). Current status and recent achievements in the field of horticulture with the use of light-emitting diodes (LEDs). *Scientia Horticulturae*, 235, 437–451.
- Carrión-Mero, P., Montalván-Burbano, N., Morante-Carballo, F., Quesada-Román, A., & Apolo-Masache, B. (2021). Worldwide Research Trends in Landslide Science. *International Journal*

of Environmental Research and Public Health, 18(18), 9445.

Cobo, M. J., López-Herrera, A. G., Herrera-Viedma, E., & Herrera, F. (2011). An approach for detecting, quantifying, and visualizing the evolution of a research field: A practical application to the Fuzzy Sets Theory field. *Journal of Informetrics*, 5(1), 146–166.

Di Lorenzo, R., Pisciotta, A., Santamaria, P., & Scariot, V. (2013). From soil to soil-less in horticulture: quality and typicity. *Italian Journal of Agronomy*, 8(4), e30–e30.

Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133, 285–296.

Ehret, D., Alsanius, B., Wohanka, W., Menzies, J., & Utkhede, R. (2001). Disinfestation of recirculating nutrient solutions in greenhouse horticulture. *Agronomie*, 21(4), 323–339.

Ehret, D. L., Menzies, J. G., & Helmer, T. (2005). Production and quality of greenhouse roses in recirculating nutrient systems. *Scientia Horticulturae*, 106(1), 103–113.

Eigenbrod, C., & Gruda, N. (2015). Urban vegetable for food security in cities. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(2), 483–498.

Gage, E., Kaye, D., & Mulholland, B. (2021). Biochar and chitin amendments for tomato substrates in commercial production: evaluation of the potential to enhance growing media sustainability. *II International Symposium on Growing Media, Soilless Cultivation, and Compost Utilization in Horticulture 1317*, 9–16.

Goddek, S., & Körner, O. (2019). A fully integrated simulation model of multi-loop aquaponics: a case study for system sizing in different environments. *Agricultural Systems*, 171, 143–154.

Gruda, N., Bisbis, M., & Tanny, J. (2019). Impacts of protected vegetable cultivation on climate change and adaptation strategies for cleaner production – A review. In *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.295>

Gruda, N. S. (2019). Increasing sustainability of growing media constituents and stand-alone substrates in soilless culture systems. *Agronomy*, 9(6), 298.

Gruda, N. S. (2021). Soilless culture systems and growing media in horticulture: An overview. *Advances in Horticultural Soilless Culture*, 1–20.

Gruda, N. S., & Fernández, J. A. (2022). Optimising Soilless Culture Systems and Alternative Growing Media to Current Used Materials. In *Horticulturae* (Vol. 8, Issue 4, p. 292). MDPI.

- Hanan, J. J. (2017). *Greenhouses: Advanced technology for protected horticulture*. CRC press.
- Hong, J., & Gruda, N. S. (2020). The potential of introduction of Asian vegetables in Europe. *Horticulturae*, 6(3), 38.
- Kloas, W., Groß, R., Baganz, D., Graupner, J., Monsees, H., Schmidt, U., Staaks, G., Suhl, J., Tschirner, M., & Wittstock, B. (2015). A new concept for aquaponic systems to improve sustainability, increase productivity, and reduce environmental impacts. *Aquaculture Environment Interactions*, 7(2), 179–192.
- Limaymanta, C. H., Zulueta-Rafael, H., Restrepo-Arango, C., & Álvarez-Muñoz, P. (2020). Bibliometric and scientometric analysis of the scientific production of Peru and Ecuador from Web of Science (2009-2018). *Informacion, Cultura y Sociedad*. <https://doi.org/10.34096/ICS.I43.7926>
- Massa, D., Magán, J. J., Montesano, F. F., & Tzortzakis, N. (2020). Minimizing water and nutrient losses from soilless cropping in southern Europe. *Agricultural Water Management*, 241, 106395.
- Morante-Carballo, F., Montalván-Burbano, N., Carrión-Mero, P., & Jácome-Francis, K. (2021). Worldwide research analysis on natural zeolites as environmental remediation materials. *Sustainability (Switzerland)*. <https://doi.org/10.3390/su13116378>
- Najmi, A., Rashidi, T. H., Abbasi, A., & Travis Waller, S. (2017). Reviewing the transport domain: An evolutionary bibliometrics and network analysis. *Scientometrics*, 110(2), 843–865.
- Nerlich, A., Karlowsky, S., Schwarz, D., Förster, N., & Dannehl, D. (2022). Soilless Tomato Production: Effects of Hemp Fiber and Rock Wool Growing Media on Yield, Secondary Metabolites, Substrate Characteristics and Greenhouse Gas Emissions. *Horticulturae*, 8(3), 272.
- Pardossi, A., Malorgio, F., Incrocci, L., Campiotti, C. A., & Tognoni, F. (2002). A comparison between two methods to control nutrient delivery to greenhouse melons grown in recirculating nutrient solution culture. *Scientia Horticulturae*, 92(2), 89–95.
- Peet, M. M., & Welles, G. W. H. (2005). Greenhouse tomato production. *Crop Production Science in Horticulture*, 13, 257.
- Quispe, E. W. A., Tapia, M. L., Pezoa, A. B., Laguna, O. T., Gonzales, J. W., & Contreras, V. H. E. (2018). Evaluación de la concentración de nitratos, calidad microbiológica y funcional en lechuga (*Lactuca sativa* L.) cultivadas en los sistemas acuapónico e hidropónico. *Anales*

Científicos, 79(1), 101–110.

Raviv, M., Lieth, J. H., & Bar-Tal, A. (2008). Significance of soilless culture in agriculture. *Soilless Culture*, 1–11.

Rocha, G. A. O., Medina, A. N. C., Arias, L. G., Caíta, J. F. A., & Villagran, E. (2022). Análisis sobre la actividad científica referente a las estrategias de climatización pasiva usada en invernaderos: Parte 1: Análisis bibliométrico. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(5), 4596–4623.

Rocha, G. A. O., Pichimata, M. A., & Villagran, E. (2021). Research on the Microclimate of Protected Agriculture Structures Using Numerical Simulation Tools: A Technical and Bibliometric Analysis as a Contribution to the Sustainability of Under-Cover Cropping in Tropical and Subtropical Countries. *Sustainability 2021, Vol. 13, Page 10433*, 13(18), 10433. <https://doi.org/10.3390/SU131810433>

Salinas-Velandia, D. A., Romero-Perdomo, F., Numa-Vergel, S., Villagrán, E., Donado-Godoy, P., & Galindo-Pacheco, J. R. (2022). Insights into Circular Horticulture: Knowledge Diffusion, Resource Circulation, One Health Approach, and Greenhouse Technologies. In *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 19, Issue 19). <https://doi.org/10.3390/ijerph191912053>

Savvas, D., & Gruda, N. (2018). Application of soilless culture technologies in the modern greenhouse industry—A review. *Eur. J. Hortic. Sci*, 83(5), 280–293.

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

Visser, M., van Eck, N. J., & Waltman, L. (2021). Large-scale comparison of bibliographic data sources: Scopus, Web of Science, Dimensions, Crossref, and Microsoft Academic. *Quantitative Science Studies*, 2(1), 20–41.

Zehra, A., & Urooj, A. (2022). A Bibliometric Analysis of the Developments and Research Frontiers of Agent-Based Modelling in Economics. *Economies*, 10(7), 171.