



**CONGRESO
DE INGENIERÍA, CIENCIA
Y GESTIÓN AMBIENTAL
AMICA**



**5th International
Conference
of Greening
of Industry
Network**



**28, 29 y 30 de octubre de 2019
Instituto de Ingeniería de la UNAM
Ciudad de México**



**UNIVERSITY
OF TWENTE.**

Walmart
México y Centroamérica





28-30 de octubre, 2019
Instituto de Ingeniería de la UNAM
Ciudad de México, México

<http://www.congresoamica2019.com>

MEMORIAS DE CONGRESO NACIONAL AMICA 2019

ISSN

04-2015-050708040300-203



ID 627 EL ESTUDIO DEL CULTIVO DE TOMATE EN INVERNADERO, HACIA UNA PRODUCCIÓN MÁS SUSTENTABLE

Kenia Loya-Hinojos¹, Leonor Patricia Güereca², Laura Franco-García³, Michiel Heldeweg⁴

¹ *Maestra en Administración, estudiante de doctorado. University of Twente, Faculty of Behavioural, Management and Social sciences, Department of Governance and Technology for Sustainability, Drienerlolaan 5, 7522 NB Enschede, The Netherlands. Email v.k.x.loyahinojos@utwente.nl*

² *Doctora en Ingeniería Ambiental. Instituto de Ingeniería, UNAM, Circuito Escolar s/n, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, Ciudad de México C.P. 04510 México. Email LGuerecaH@ingen.unam.mx*

³ *Doctora en Química Ambiental. University of Twente, Email m.l.francogarcia@utwente.nl*

⁴ *Doctor en Leyes. University of Twente, Email m.a.heldeweg@utwente.nl*

Abstract

The aim of this research is to analyse the main environmental and social impacts of the horticultural greenhouse of tomato production in the literature, with a focus on technology level, as well as the main assessment methodologies. To achieve the target, a systematic literature research was conducted, identifying a reduced number of studies on social impacts assessment, unlike the environmental impacts where a large number of researches were detected. Life Cycle Assessment was the most large used methodology in greenhouse production, which reports the main environmental impacts as follows: consumption of fossil fuels, electricity, fertilizers and greenhouse structure. Several factors involved such as geographical location, technology used and yields affect environmental outcomes. No impact evaluation studies were detected for smart technologies, offering a great opportunity for future research, including environmental, social and performance aspects.

Introducción

La producción agrícola se ha intensificado durante los últimos años, debido principalmente al aumento de la población y la demanda de alimentos, FAO (2014) estima que se requiere un incremento de producción agrícola del 60% para alimentar a la población en el 2050. Provocando un incremento en la intensificación de las prácticas agrícolas (Torrellas et al., 2012).

Así mismo, la agricultura se asocia con impactos ambientales y económicos, al ocupar la segunda posición en generación de GEI (IPCC, 2014) y emplear a un tercio de los trabajadores a nivel mundial (FAO, 2017b; ILO, 2011), sujetos a riesgos laborales y violación de derechos humanos como: (i) trabajo infantil, (ii) trabajo forzado, (iii) condiciones de trabajo insalubres y abusivas, entre otras (OECD/FAO, 2016).

Dentro de la agricultura, existen ramas como la horticultura (Sonah et al., 2011), compartiendo los impactos ambientales y sociales de la agricultura. Rezvani-Moghaddam, Feizi, y Mondani (2018) ubican globalmente al tomate como uno de los principales productos hortícolas de alto valor. En la horticultura, el uso de tecnología en invernaderos proporciona mayor productividad en el cultivo, sin embargo es altamente intensivo en el consumo de energía (FAO, 2017a).

La adopción de tecnologías inteligentes en invernaderos se relaciona con mejores rendimientos, empleando hardware y software que monitorea en tiempo real y a distancia parámetros clave del cultivo, gestionando información, a través del uso de: (i) sensores y actuadores, (ii) internet de las cosas, (iii) computación en la nube, entre otros (Colezea et al., 2018). De ahí la importancia de realizar estudios de evaluación de impactos



ambientales y sociales relacionados con el efecto que tiene el nivel tecnológico en la producción hortícola de tomate y en su rendimiento.

Objetivos

Analizar los principales impactos ambientales y sociales asociados a la producción hortícola de tomate reportados en la literatura, específicamente en invernadero, desde un enfoque tecnológico, así como las principales herramientas y metodologías de evaluación.

Metodología

Se realizó una revisión de literatura sobre los principales impactos ambientales y sociales de la producción de tomate en invernadero y metodologías de evaluación. Para lo cual, se realizaron búsquedas sistemáticas desde enfoques de: (i) impacto ambiental, (ii) impacto social y (iii) avance tecnológico, como se menciona a continuación: (i) Empleando las palabras clave: "tomato production", "environmental impacts" and "greenhouse production", obteniendo 56 resultados en la base de datos de Science Direct (SD). Los resultados obtenidos fueron filtrados al periodo de tiempo de 2006 a 2019, por tipo de publicación de artículo científico (39), revisiones (5) y capítulos de libro (4), disminuyendo los resultados de la búsqueda a 49 documentos. Además, se empleó la técnica de bola de nieve para ampliar la búsqueda. (ii) Adicionalmente, durante la búsqueda de evaluación de impactos sociales, se aplicaron las palabras clave: "tomato production", "social impacts" and "greenhouse production" en SD, que arrojó 4 resultados. (iii) Por otra parte, enfocándose en las tecnologías empleadas, se realizaron búsquedas en SD para identificar impactos ambientales y sociales dentro de la agricultura inteligente, adicionando palabras clave como: "smart farming", "Agro 4.0", "agri-food 4.0", "advanced agriculture", sin encontrar resultados de búsqueda.

Resultados y discusión

Metodologías y herramientas para evaluar impactos ambientales en la horticultura

Se han desarrollado varias herramientas y metodologías de evaluación de impacto que han sido aplicadas en la producción hortícola en tomate como son: (i) Huella Hídrica (HH) (ISO, 2014) (ii) Huella de Carbono (HC) (ISO, 2013) y (iii) Análisis de Ciclo de Vida (ACV) (ISO, 2006). HH y la HC se enfocan exclusivamente al uso consumo de energía o de agua, analizando una categoría de impacto (Klöpffer, 2014), mientras que ACV analiza hasta 18 categorías de impacto.

1.-Estudios de HC y HH en producción hortícola

Algunas investigaciones consideran solo HH en cultivo de tomate, como los estudios de Chapagain y Orr (2009) que detectaron como principal impacto el consumo de agua, relacionada con factores de evaporación y contaminación (producción de tomate evapora 297 Mm³/año y contaminó 29 Mm³/año).

Estudios de HC evalúan la categoría de calentamiento global, reportando las mayores emisiones en el consumo de gas natural (calentamiento del invernadero) y la electricidad (fertilización y riego), ambas en la etapa de cultivo, donde el clima (frío o cálido) es un factor que influencia las cargas ambientales. Detectaron que entre mayor grado de tecnología, las cargas de la estructura del invernadero se incrementan



debido a las emisiones para la fabricación del aluminio y del plástico, sin embargo, reducen los consumos de agua y fertilizantes (Ntinas, Neumair, Tsadilas, & Meyer, 2017).

Page, Ridoutt, y Bellotti (2012), emplean ambas metodologías desde un enfoque de nivel tecnológico de: (i) baja, (ii) media y (iii) alta tecnología en invernadero, obteniendo un mejor desempeño en invernaderos de alta tecnología con un rango de 1.87–7.66% en uso de agua; a diferencia de los resultados obtenidos en la HC, donde invernaderos de alta tecnología obtuvieron mayores emisiones de GEI y mayor impacto ambiental (98.13%). Los principales factores son los altos consumos de energía para calentar los invernaderos de media y alta tecnología, responsables del 83-85% de las emisiones totales.

2.- Estudios de ACV en producción hortícola

Se reporta en la literatura que el uso de tecnología avanzada en invernaderos, genera mayores rendimientos, como los obtenidos en Países Bajos de 56.5 kg/m², lo que se relaciona con mejor desempeño económico (Sanyé-Mengual et al., 2018; Torrellas et al., 2012). Por su parte, Martínez-Blanco, Muñoz, Antón, y Rieradevall (2011) reportan incrementos de casi un 50% en rendimientos, así como reducciones de requisitos de agua y pesticidas.

Algunos de los principales impactos son:

- a) Consumo de energía (combustibles fósiles y electricidad): Bosona y Gebresenbet, 2018; Zhang, Burr, y Zhao (2017) reportan al consumo de energía como punto crítico en todas las etapas evaluadas en materia ambiental, lo cual concuerda con resultados de Zarei et al. (2018) que reportan el consumo del diésel y de gas natural como los mayores contribuidores en todas las categorías de impacto evaluadas.
- b) Consumo de fertilizantes: Además del alto consumo de energía, el uso de fertilizantes también es considerado uno de los puntos críticos, que además se vinculan con la emisión de GEI (Chen, Hou, Hu, et al., 2018; Chen, Hou, Wang, et al., 2018). Además, prácticas ineficientes en aplicación de fertilizantes generan mayores impactos ambientales; de acuerdo con Thompson, et al. (2007) el 60% de los invernaderos estudiados exceden hasta un 200% la aplicación de fertilizantes que requiere el cultivo.
- c) Estructura del invernadero: Adicionalmente, Torrellas, Antón, Ruijs, et al. (2012) detectaron que además del consumo energético y los fertilizantes, la estructura del invernadero, contabilizan las cargas ambientales críticas en invernadero de plástico y de vidrio, tanto con calefacción como sin ella.

Algunos factores que influyen los impactos son las condiciones climáticas, debido el gas natural requerido para calentar el invernadero en climas fríos (Torrellas et al., 2012). Por otra parte, Parajuli, Thoma, & Matlock (2019) consideran los siguientes factores: región geográfica, prácticas hortícolas, entradas de materiales al sistema, así como el rendimiento por m². En este sentido, Bosona y Gebresenbet (2018) añaden que los métodos de producción y límites del sistema elegido en el ACV influyen durante la evaluación de impactos ambientales.

Evaluación de impactos sociales en horticultura Se detectó que la evaluación de impactos sociales en la horticultura, se encuentra menos extendida. El estudio de Petti, Sanchez Ramirez, Traverso, & Lie (2018) evalúa las prácticas organizacionales con fundamento en el cumplimiento de acuerdos internacionales en materia de seguridad social, empleando la metodología de ACV- Social, tomando en consideración



trabajadores, comunidad local y consumidores, con una UF (nutricional) de: 1kg de tomate, cuya función es la de cubrir las necesidades nutricionales de una persona como fuente de antioxidantes, fibra, minerales y vitaminas.

Horticultura inteligente para mejorar el desempeño Los invernaderos como sistemas complejos se encuentran compartiendo el mundo físico con el mundo virtual. Mocanu et al. (2015) señala que los parámetros físicos (composición de suelo, tipo de cultivo, posición geográfica, humedad, entre otros) son monitoreados empleando sensores y servicios remotos, que procesan los datos generando información valiosa. Es decir, los sensores generan datos enviados a la nube en el mundo virtual, que son empleados para tomar decisiones en el mundo físico, con mayor eficiencia. En relación al uso de tecnologías inteligentes en la producción hortícola, no se han detectado estudios que analicen los impactos ambientales y sociales.

Conclusiones

Las metodologías identificadas para la evaluación de los impactos ambientales fueron HC, HH y ACV. A pesar que las metodologías toman en cuenta el ciclo de vida del producto, la HC solo considera la categoría de impacto de cambio climático, evaluando GEI directos e indirectos, es decir, aquellos que se relacionan directamente con el proceso productivo del tomate, así como las emisiones directamente relacionadas con la producción de la electricidad consumida y otras fuentes indirectas. Mientras que el ACV considera otras categorías de impacto adicionales como son acidificación, eutrofización, toxicidad humana, agotamiento de agua, formación de oxidantes fotoquímicos, uso de tierra agrícola, eco-toxicidad terrestre y marina, entre otras, lo que permite un rango más amplio de análisis y evaluación de impactos asociados a un producto. La identificación de estos impactos son relevantes para desarrollar patrones de producción sustentables del tomate en cumplimiento con metas de alta productividad que minimizan los impactos ambientales, por lo cual el ACV es la metodología con mejor desempeño y la más utilizada para evaluar productos hortícolas.

Por otro lado, los principales impactos ambientales de la producción de tomate se relacionan al consumo de energía, agua e insumos clave como los fertilizantes. Los cuales generan emisiones de GEI, en diferentes etapas del ciclo de vida del producto, afectando categorías de impacto de calentamiento global, acidificación y eutrofización. Mismas que se encuentran relacionadas con el consumo de combustibles fósiles y electricidad para climatizar los invernaderos, durante las etapas de fertilización y riego.

Otro de los problemas detectados, son las prácticas ineficientes de aplicaciones excesivas de fertilizantes de hasta dos veces más de lo requerido por el cultivo, así como el uso de agua, mismas que pueden resolverse a través de tecnologías inteligentes que monitorean constantemente los parámetros clave de los cultivos, incrementando la productividad y el uso eficiente de recursos.

En materia económica, los invernaderos de alta tecnología reportan mayores rendimientos en los cultivos hortícolas, alta eficiencia en el uso de insumos, baja demanda de agua, así como de productos agroquímicos como pesticidas y fertilizantes, sin embargo, los requerimientos de energía se incrementan, así como las cargas asociadas a la estructura del invernadero, principalmente por factores como el clima.



Por otro lado, la evaluación de impactos sociales ha sido poco estudiada en la producción hortícola, a través de ACV-Social. Adicionalmente, no se identifican estudios de ACV que evalúen las tres dimensiones de la sustentabilidad en la producción hortícola.

Así mismo, no se detectó la evaluación de los impactos ambientales y sociales de la producción hortícola en la bibliografía, a través del uso de tecnologías inteligentes en invernaderos, aun cuando han sido reportados sus beneficios en relación a incrementos de la productividad. Lo que representa una oportunidad para contribuir con la generación de información que permita clarificar su aportación dentro del marco de producción sustentable.

Referencias

- Bosona, T., & Gebresenbet, G. (2018). Life cycle analysis of organic tomato production and supply in Sweden. *Journal of Cleaner Production*, 196, 635–643.
- Chapagain, A., & Orr, S. (2009). An improved water footprint methodology linking global consumption to local water resources: A case of Spanish tomatoes. *Journal of Environmental Management*, 90(2), 1219–1228.
- Chen, H., Hou, H., Hu, H., Shang, Z., Zhu, Y., Cai, H., & Qaisar, S. (2018). Aeration of different irrigation levels affects net global warming potential and carbon footprint for greenhouse tomato systems. *Scientia Horticulturae*, 242(July), 10–19.
- Chen, H., Hou, H., Wang, X., Zhu, Y., Qaisar, S., Wang, Y., & CAI, H. (2018). The effects of aeration and irrigation regimes on soil CO₂ and N₂O emissions in a greenhouse tomato production system. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(2), 449–460.
- Colezea, M., Musat, G., Pop, F., Negru, C., Dumitrascu, A., & Mocanu, M. (2018). CLUEFARM: Integrated web-service platform for smart farms. *Computers and Electronics in Agriculture*, 154(August), 134–154.
- FAO. (2014). Building a common vision for sustainable food and agriculture. Principles and approaches. *American Journal of Evaluation* (Vol. 4). Rome.
- FAO. (2017a). Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable production in the South East European countries. Principles for sustainable intensification of smallholder farms. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- FAO. (2017b). The Future of Food and Agriculture. Trends and challenges.
- ILO. (2011). Safety and Health in Agriculture. ILO code of practice. Safety and Health in Agriculture. Geneva.
- IPCC. (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland: Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.).
- ISO. (2006). ISO 14040/44 Environmental Management--Life cycle assessment -- Requirements and guidelines. International Organization for Standardization.
- ISO. (2013). ISO/TS 14067 Carbon footprint of products.
- ISO. (2014). ISO 14046 Environmental management. Water footprint. Principles, requirements and guidelines.
- Klöpffer, W. (2014). Introducing Life Cycle Assessment and its Presentation in LCA Compendium. In W. Klöpffer & M.-A. Curran (Eds.), *Background and Future Prospects in Life Cycle Assessment*. Dordrecht: Springer Science Business Media Dordrecht.
- Martínez-Blanco, J., Muñoz, P., Antón, A., & Rieradevall, J. (2011). Assessment of tomato Mediterranean production in open-field and standard multi-tunnel greenhouse, with compost or mineral fertilizers, from an agricultural and environmental standpoint. *Journal of Cleaner Production*, 19(9–10), 985–997.
- Mocanu, M., Cristea, V., Negru, C., Pop, F., Ciobanu, V., & Dobre, C. (2015). Cloud-based architecture for farm management. *Proceedings - 2015 20th International Conference on Control Systems and Computer Science, CSCS 2015*, 814–819.
- Ntinas, G. K., Neumair, M., Tsadilas, C. D., & Meyer, J. (2017). Carbon footprint and cumulative energy demand of greenhouse and open-field tomato cultivation systems under Southern and Central European climatic conditions. *Journal of Cleaner Production*, 142, 3617–3626.



- OEDC/FAO. (2016). OECD-FAO Guidance for Responsible Agricultural Supply Chains, OECD Publishing, Paris.
- Page, G., Ridoutt, B., & Bellotti, B. (2012). Carbon and water footprint tradeoffs in fresh tomato production. *Journal of Cleaner Production*, 32, 219–226.
- Parajuli, R., Thoma, G., & Matlock, M. (2019). Environmental sustainability of fruit and vegetable production supply chains in the face of climate change: A review. *Science of the Total Environment*, 650, 2863–2879.
- Petti, L., Sanchez Ramirez, P. K., Traverso, M., & Lie, C. (2018). An Italian tomato “Cuore di Bue” case study: challenges and benefits using subcategory assessment method for social life cycle assessment. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 23(3), 569–580.
- Rezvani-Moghaddam, P., Feizi, H., & Mondani, F. (2018). Evaluation of Tomato Production Systems in Terms of Energy Use Efficiency and Economical Analysis in Iran. *Notulae Scientia Biologicae*, 3(4), 58.
- Sanyé-Mengual, E., Martínez-Blanco, J., Finkbeiner, M., Cerdà, M., Camargo, M., Ometto, A., ... Rieradevall, J. (2018). Urban horticulture in retail parks: Environmental assessment of the potential implementation of rooftop greenhouses in European and South American cities. *Journal of Cleaner Production*, 172, 3081–3091.
- Sonah, H., Deshmukh, R., Singh, V., Gupta, D., Singh, N., & Sharma, T. (2011). Genomic resources in horticultural crops: Status, utility and challenges. *Biotechnology Advances*, 29, 199–209.
- Thompson, R., Martínez-Gaitan, C., Gallardo, M., Giménez, C., & Fernández, M. (2007). Identification of irrigation and N management practices that contribute to nitrate leaching loss from an intensive vegetable production system by use of a comprehensive survey. *Agricultural Water Management*, 89(3), 261–274.
- Torrellas, M., Antón, A., Ruijs, M., García, V., Stanghellini, C., & Montero, J. (2012). Environmental and economic assessment of protected crops in four European scenarios. *Journal of Cleaner Production*, 28, 45–55.
- Zarei, M. J., Kazemi, N., & Marzban, A. (2018). Life cycle environmental impacts of cucumber and tomato production in open-field and greenhouse. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*.
- Zhang, H., Burr, J., & Zhao, F. (2017). A comparative life cycle assessment (LCA) of lighting technologies for greenhouse crop production. *Journal of Cleaner Production*, 140, 705–713.