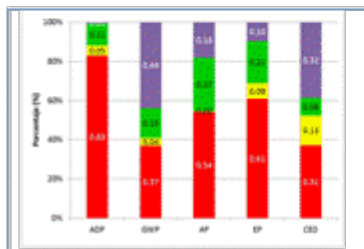
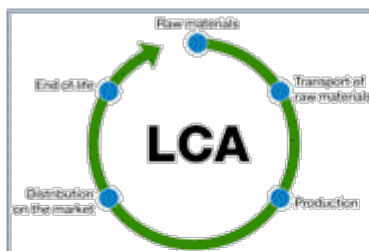




PROPOSAL LIFE 16-ENV-ES-000341

“DESALINATED SEAWATER FOR ALTERNATIVE AND SUSTAINABLE SOILLESS CROP PRODUCTION”



ACTION C1. MONITORING THE ENVIRONMENTAL IMPACTS OF IRRIGATION WITH DESALINATED SEAWATER

“Report on first year on the impacts of the treatments on energy consumption and carbon dioxide emission. Life Cycle Analysis”

“July 2019”



Universidad
Politécnica
de Cartagena

ÍNDICE

Abstract/Resumen	3
1. Introducción	4
2. Materiales y Métodos.....	4
3. Resultados y Discusión	9
4. Conclusiones.....	11
Referencias	12



Abstract

This report analyzed the environmental sustainability of irrigation with Desalinated Seawater (DSW) in hydroponic systems with drain reuse for tomato cultivation under greenhouse. Life Cycle Analysis (LCA) methodology was applied in accordance with ISO 14040. This methodology attributes to the final product all the environmental effects derived from the consumption of raw material and of energies necessary for its manufacture, the emission and residues generated in the process of production, as well as the environmental effects proceeding from the end of life of the product. The methodology has been applied with the data obtained from the first cycle of tomato production carried out in the experimental greenhouse of the Fundación Finca Experimental UAL-ANECOOP in Retamar (Almería). These trials analyzes the effects of (1) conventional water sources against irrigation with DSW, and (2) systems with drainage reuse versus systems that discharge drains into the subsoil. The environmental impacts analyzed have been the global warming potential, the acidification potential of soil and water, the eutrophication potential and the abiotic depletion of resources. Also two impact indicators of special relevancy in the agricultural production have been included in the analysis as water use efficiency and cumulated energy demand. The main conclusions of the trials are, (1) the use of water DSW shown a slight increase of environmental impact in most impact categories analyzed (<5%); (2) hydroponic cultivation has a higher water use efficiency than soil cultivation (14%) and (3) drainage recycling reduces acidification, eutrophication and abiotic depletion of resources, however increases the global warming potential and cumulative energy demand.

Resumen

En este informe se analiza la sostenibilidad medioambiental del riego con Agua Marina desalinizada (AMD) en sistemas hidropónicos con reutilización de drenajes para el cultivo de tomate bajo invernadero. La metodología aplicada se basa en el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de acuerdo con la normativa ISO 14040. Esta metodología atribuye al producto final todos los efectos ambientales derivados del consumo de materias primas y de energías necesarias para su manufactura, las emisiones y residuos generados en el proceso de producción, así como los efectos ambientales procedentes del fin de vida del producto. La metodología ha sido aplicada con los datos obtenidos del primer ciclo de cultivo de tomate realizado en el invernadero experimental de la Fundación Finca Experimental UAL-ANECOOP en Retamar (Almería) y analiza específicamente y de forma comparativa los efectos de (1) las fuentes de agua convencionales frente al riego con AMD, y (2) los sistemas con reutilización de drenajes frente a los sistemas que vierten los drenajes al subsuelo. Los impactos ambientales analizados han sido el potencial de calentamiento global, el potencial de acidificación del suelo y el agua, el potencial de eutrofización, y el potencial de agotamiento de recursos abióticos. También se han incluido en el análisis dos indicadores de especial relevancia en la producción agrícola como la eficiencia del uso del agua y la demanda de energía acumulada. Como conclusiones del informe cabe destacar que, (1) el empleo de agua AMD supone un aumento leve del impacto ambiental en la mayoría de categorías de impacto analizadas (<5%); (2) el cultivo



hidropónico tiene una mayor eficiencia del uso del agua que el cultivo en suelo (14%) y (3) la reutilización de drenajes reduce la acidificación, eutrofización y agotamiento de recursos, pero aumenta el calentamiento global y la demanda de energía acumulada.

1. Introducción

Este entregable se enmarca dentro de la Acción C1. MONITORING THE ENVIRONMENTAL IMPACTS OF IRRIGATION WITH DESALINATED SEAWATER, y corresponde a las tareas C1.3.- Monitoring the impacts on the energy, y C1.4.- Monitoring the impacts on the CO₂ emissions.

Este trabajo analiza la sostenibilidad medioambiental del riego con AMD (agua marina desalinizada) en sistemas hidropónicos con reutilización de drenajes para el cultivo de tomate bajo invernadero, a partir de los datos experimentales obtenidos en un ensayo realizado en la Fundación Finca Experimental UAL-ANECOOP, Retamar (Almería).

Se presentan los resultados correspondientes al ciclo otoño-invierno del cultivo de tomate del primer año. La metodología aplicada se basa en el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de acuerdo con la normativa ISO 14040, que permite analizar los indicadores de sostenibilidad ambiental del cultivo en los diferentes tratamientos.

2. Materiales y métodos

En el informe se analiza específicamente y de forma comparativa los efectos de (1) las fuentes de agua convencionales frente al riego con AMD, y (2) los sistemas con reutilización de drenajes frente a los sistemas que vierten los drenajes al subsuelo. Para cuantificar el punto (1), *i.e.* las diferencias entre el uso de AMD y aguas salobres disponibles en la zona de estudio, se realizaron tres tratamientos con diferente salinidad: uno con agua desalinizada suministrada por la planta desaladora de Carboneras (T1), y otros dos con aguas de mayor conductividad (T2 y T3) obtenidos por mezcla de AMD y aguas salobres de pozo simuladas. Para cuantificar el punto (2), *i.e.* el impacto de la recirculación de drenajes frente a sistemas abiertos, se instaló un módulo de osmosis inversa alimentado por placas solares que permitió reutilizar parcialmente el agua de los drenajes.

Los ensayos se llevaron a cabo en un invernadero de raspa y amagado tipo Almería sin calefacción y con ventilación cenital natural automatizada. Se utilizaron dos sistemas de cultivo: enarenado tradicional de la zona como sistema sin reutilización de drenajes; y cultivo hidropónico en fibra de coco con sistema con reutilización de drenajes. Los resultados que se muestran en este estudio corresponden al cultivo con plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L. cv. Ramyle) realizado durante un ciclo otoño-primavera (2018-2019).

2.1. Inventario de entradas-salidas

Para poder realizar el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de los diferentes tratamientos de riego se ha realizado un inventario de todas las entradas y salidas de materiales y energía necesarias

para el cultivo. El inventario permite cuantificar los consumos de materias primas y energía junto con todos los residuos sólidos, emisiones a la atmósfera y vertidos al agua (cargas medioambientales) derivados de todos los procesos que están dentro de los sistemas de producción del tomate considerados.

El proceso de producción se ha dividido en cuatro fases: (1) Estructura del invernadero, (2) Equipo auxiliar, (3) Fertilizantes y pesticidas y (4) Manejo del cultivo. En la Fig. 1 se muestra el diagrama de flujo para las fases consideradas en la producción de tomate.

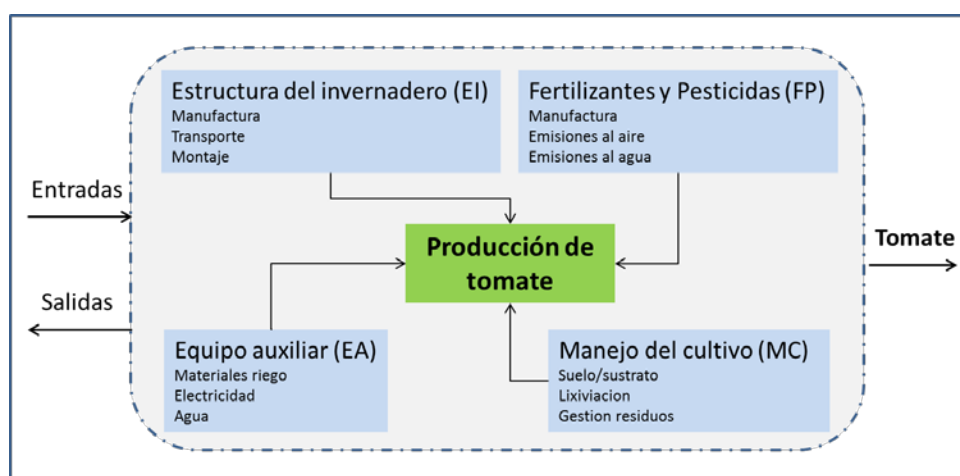


Figura 1. Diagrama de flujo para las fases consideradas en la producción de tomate.

En la *estructura del invernadero* se ha tenido en cuenta la fabricación y transporte del material necesario para crear la estructura y construcción del invernadero y material plástico de la cubierta, pared etc. Esta información se ha obtenida de la base de datos Ecoinvent 3.5 para un invernadero de características similares al utilizado en el ensayo. En dicha base de datos se consideran las emisiones producidas en la fabricación de los materiales empleados, su extracción y transporte hasta el lugar de producción; así como la gestión de todos los residuos generados al final de la vida útil de la estructura, incluyendo su transporte hasta planta gestora.

En el *equipo auxiliar* se han considerado todos los materiales empleados en la fabricación de los elementos necesarios en el sistema de riego, así como el transporte de los mismos y la energía consumida por el funcionamiento del sistema de riego. Los materiales empleados en este proceso fueron: acero en las bombas de riego e inyectores; polietileno en tuberías, válvulas y depósitos, incluido el transporte (tipo de vehículo y km recorridos); y el consumo eléctrico asociado al uso del agua, tanto dentro del invernadero para realizar el riego, como fuera para producirla y/o transportarla. De igual manera que en la fase de estructura del invernadero, se ha considerado la gestión de los residuos al final de la vida útil.

En *pesticidas y fertilizantes* se ha incluido, para los pesticidas, su fabricación, transporte y el uso de maquinaria y energía consumida para su aplicación. Respecto a los fertilizantes, su proceso de fabricación, las cantidades totales de nitrógeno (N), fósforo (P_2O_5) y potasio (K_2O)

aplicadas durante el ciclo de cultivo, así como las emisiones de amoníaco (NH_3), monóxido de dinitrógeno (N_2O) y óxidos de nitrógeno (NO_x) al aire y lixiviación de nitratos (NO_3) y fosfatos (PO_4) al agua. En esta fase también se han considerado, para el sistema de reutilización de drenajes, la planta de osmosis para el tratamiento del lixiviado. El empleo de este sistema evita la contaminación de nitratos y fosfatos al subsuelo. La planta de osmosis está instalada en el interior de un contenedor de transporte, próxima al invernadero, y para su funcionamiento se emplea energía eléctrica de origen renovable generada con paneles solares colocados en el techo del contenedor (Fig. 2). El agua producto de la osmosis se envía a la balsa de agua desalada de regulación de la finca, para utilizarla nuevamente en el riego del cultivo; y el agua rechazo se envía a la balsa de pluviales para emplearla en el riego de jardines.



Figura 2. Módulo de osmosis inversa alimentado por energía solar. Izquierda detalle de las placas solares en el tejado del contenedor. Derecha detalle del interior del módulo de osmosis inversa y depósito de lixiviado procedente del invernadero dispuesto para ser tratado.

En *manejo del cultivo*, para ambos sistemas de cultivo se ha considerado el plástico del suelo, cuerdas, etc. En el cultivo enarenado se ha incluido el tractor y maquinaria empleada para realizar el enarenado, incluido el combustible; así como el estiércol y las emisiones producidas por el mismo [emisiones de amoníaco (NH_3) y monóxido de dinitrógeno (N_2O) y óxidos de nitrógeno (NO_x) al aire y lixiviación de nitratos (NO_3) al agua]. En el cultivo hidropónico se incluyen los sacos de fibra de coco; su procesado y transporte, así como las canaletas y otros materiales plásticos específicos para el riego en hidropónico. Como residuos, para ambos tipos de sustrato, se han considerado el transporte y gestión de la biomasa (40% humedad) de las plantas al final del ciclo, enviadas al centro de compostaje, y los plásticos al centro de gestión. Para el cultivo hidropónico se ha tenido en cuenta también el transporte de la fibra de coco y plásticos (canaletas, etc.) al centro de gestión.

En la Tabla 1 se muestra el inventario de entradas y salidas del ensayo para cada uno de los sistemas de cultivo.



Tabla 1. Inventario de entradas y salidas en los sistemas de cultivo analizados.

Entradas / salidas	Unidades por ciclo	Sistema de cultivo	
		Sin recirculación del drenaje (enarenado)	Con recirculación del drenaje (fibra de coco)
Agua aplicada para riego	L/m ²	278	278
Drenaje (estimado)	%	15	-
Lixiviado	%	-	20
Recuperación del lixiviado	%		70
Agua consumida	L/m ²	278	239
Consumo específico por fuente de agua:			
- T1: agua desalada (1 ds/m)	kWh/m ³	4.98	4.98
- T2 agua mezcla (2 ds/m)	kWh/m ³	3.69	3.69
- T3: agua mezcla (3 ds/m)	kWh/m ³	1.77	1.77
Fertilizantes ¹ :			
- N	g/m ²	260	260
- P ₂ O ₅	g/m ²	180	180
- K ₂ O	g/m ²	490	490
Pesticidas:			
- Insecticidas	g/m ²	38	38
- Fungicidas	g/m ²	285	285
Sustratos:			
- Estiércol para enarenado	Kg/m ²	2.53	-
- Fibra de coco	Kg/m ²	-	1.0
Producción	Kg/m ²	7.21	8.97
Duración ciclo	días	163	163
Densidad de plantación	Plantas/m ²	2	2

¹: valores promedio de unidades de fertilizante para los tratamientos T1-T2-T3.

En general para las cuatro fases, otros datos necesarios para el cálculo de las emisiones han sido obtenidos de la base de datos Ecoinvent 3.5, incluyendo la fabricación de los materiales necesarios para la construcción del invernadero y material plástico utilizado en los sistemas de cultivo, y los materiales empleados en la instalación del equipo de riego, equipo de tratamiento de lixiviado, etc., así como la fabricación de fertilizantes y pesticidas, producción de electricidad, transporte de materiales y residuos a la planta de procesado. Por otra parte, las emisiones de N (NH₃; N₂O; NO₃) al aire y agua, y P (PO₄) al agua durante la fase de producción del tomate fueron calculadas siguiendo la metodología propuesta por Audsley (2000) y Brentrup et al. (2000).

2.2. Analisis de ciclo de vida

Para el análisis se ha utilizado la metodología de ACV de acuerdo con la normativa ISO 14040. El ACV es un proceso objetivo que permite evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto o cultivo agrícola, identificando y cuantificando el uso de materia y energía y los



vertidos al entorno, con el fin de determinar el impacto que ese uso de recursos y esos vertidos producen al medio ambiente. Además, permite evaluar y llevar a la práctica estrategias de mejora ambiental, así como brindar soporte para la toma de decisiones más rentables, sostenibles y eficientes. Para ello es necesario cuantificar los consumos de materias primas y energía junto con todos los residuos sólidos, emisiones a la atmósfera y vertidos al agua derivados de cada uno de los dos sistemas de producción estudiados. En el caso de los sistemas agrícolas la principal función es la producción de alimentos (Audsley et al., 1997), por tanto, se ha considerado como unidad funcional (FU) de referencia la producción comercial de tomate (1 kg de peso fresco comercial).

2.3. Categorías de impacto

Las categorías de impacto analizadas (Tabla 2) han sido seleccionadas por su relevancia en los procesos agrícolas. Las emisiones relacionadas con procesos agrícolas, las infraestructuras y los fertilizantes son los principales contribuidores al cambio climático. Las emisiones de amonio y nitratos debido al empleo de fertilizantes nitrogenados contribuyen de forma significativa a las categorías eutrofización y acidificación. El agotamiento de recursos abióticos y energéticos naturales se encuentra relacionado con la extracción de minerales y combustibles fósiles, que se producen en la fabricación de los materiales empleados en los sistemas de producción agrícola. Por último, se ha considerado la eficiencia del uso del agua, que es un buen indicador del aprovechamiento de los recursos hídricos. Para la evaluación de las categorías de impacto (Tabla 2) se ha utilizado la metodología CML-IA (Guinée et al., 2002) con el software SimaPro 8.5 (PRe Consultants, 2018).

Tabla 2. Categorías de impacto consideradas en el análisis.

Categoría de impacto	Acrónimo	Unidad
Agotamiento de recursos	ADP	kg Sb _{eq} /FU*
Calentamiento global	GWP	kg CO ₂ eq/FU
Acidificación	AP	kg SO ₂ eq/FU
Eutrofización	EP	kg PO ₃ ₄ eq/FU
Demanda de energía	CED	MJ/FU
Eficiencia del uso del agua	WU	FU/m ³

*UF: Unidad Funcional.

En la categoría de impacto de calentamiento global, que analiza el impacto del CO₂, se ha determinado el calentamiento global provocado por las emisiones de CO₂ propias del cultivo de tomate (Tabla 1), así como el balance de carbono considerando con signo positivo las emisiones de CO₂ provocadas por el cultivo (Tabla 1) y con signo negativo la fijación del carbono biogénico realizado por las plantas. El valor de la fijación de CO₂ por kg de tomate producido ha sido tomado de Victoria et al. (2010), que analiza los cultivos más importantes de la Región de Murcia.



3. Resultados y Discusión

En la Tabla 3 se muestran los impactos ambientales de la producción de 1 kg de tomate en los dos sistemas de cultivo y tres tratamientos considerados. El uso de AMD frente a agua salobre, tanto en cultivo enarenado como en cultivo hidropónico, produjo un incremento leve del impacto ambiental en todas las categorías de impacto que se atribuyó principalmente a que el impacto asociado al volumen de agua empleado en el cultivo fue bajo en comparación con otros inputs. Incluso en los tratamientos que utilizaron mayor volumen de AMD (T1S y T1F frente a T3S y T3F), que conllevaron un mayor consumo de energía específica, los incrementos en todas las categorías de impacto fueron inferiores al 5%, exceptuando la CED, donde se alcanzó el 10% entre T1S y T3S. La intensificación de los sistemas agrícolas, como en el caso de los cultivos hidropónicos, incrementaron el requerimiento de energía fósil que repercutió directamente en las categorías de impacto relacionadas como CED y GWP (Castoldi et al., 2011; Martínez-Mate et al., 2018).

La reutilización de los drenajes en los sistemas de cultivo hidropónico redujo la AP, EP y ADP en un 28, 27 y 20%, respectivamente, frente a los sistemas de cultivo en suelo, independientemente del tratamiento de riego; pero aumentó el impacto en GWP y CED en un 14 y 6% respectivamente (Tabla 3). Nuestros resultados están en línea con los obtenidos por (Antón et al., 2005), quienes evaluaron el impacto ambiental de tres sistemas de cultivo de tomate en invernadero, *i. e.* cultivo en suelo y cultivo hidropónico en ciclo cerrado y abierto. Sin embargo, no es posible comparar directamente los valores obtenidos porque tanto la metodología utilizada como las fases del proceso fueron diferentes.

Tabla 3. Comparación de los impactos ambientales de la producción de 1 kg de tomate en los seis sistemas de cultivo considerados.

Categoría impacto	Unidad	T1S	T1F	T2S	T2F	T3S	T3F
ADP	kg Sb _{eq} /FU	1.07E-05	8.60E-06	1.06E-05	8.48E-06	1.03E-05	8.31E-06
GWP	kg CO _{2 eq} /FU	0.383	0.432	0.380	0.430	0.375	0.426
AP	kg SO _{2 eq} /FU	2.16E-03	1.58E-03	2.16E-03	1.58E-03	2.16E-03	1.58E-03
EP	kg PO ₄ ⁻³ eq/FU	8.71E-04	6.34E-04	8.55E-04	6.21E-04	8.30E-04	6.02E-04
CED	MJ/FU	7.65	7.94	7.38	7.72	6.96	7.38
WU	FU/m ³	25.9	37.5	25.9	37.5	25.9	37.5

T1S: cultivo en enarenado regado con agua desalada; T1F: cultivo en fibra de coco regado con agua marina desalada; T2S: cultivo en enarenado regado con agua de pozo; T2F: cultivo en fibra de coco regado con agua de pozo; T3S: cultivo en enarenado regado con agua mezcla; T3F: cultivo en fibra de coco regado con agua mezcla.

WU fue mayor en los sistemas de cultivo hidropónico que en los sistemas de enarenado (37.5 frente a 25.9 kg/m³), debido a la recuperación del 20% del lixiviado (Tabla 3). Este lixiviado fue tratado en la planta de osmosis, con un rechazo medio de un 30%, lo que supuso un ahorro de agua del 14%. Este resultado coincide con el obtenido por otros autores como (Martínez-Mate et al., 2018), que indicaron una mayor eficiencia del uso del agua en el cultivo hidropónico de lechuga frente al cultivo en suelo.



La Fig. 2 muestra la contribución de cada fase del proceso en las categorías de impacto seleccionadas, para cada uno de los seis sistemas de producción de tomate bajo invernadero considerados. La *estructura de invernadero* (barras rojas en Fig. 2) es la fase con mayor carga ambiental en la mayoría de categorías. Destaca con mayor relevancia en la categoría de ADP debido a la alta cantidad de materiales empleados, como acero en la estructura y plástico en la cubierta. Por otra parte, la fase de *manejo del cultivo* (barras lilas en Fig. 2) comparativamente tiene mayor importancia en las categorías de impacto GWP y CED en los sistemas de cultivo hidropónico que en los sistemas de cultivo en suelo (sistemas *b, d y f* frente a sistemas *a, c y e* en Fig. 2); siendo el 44% en GWP y el 32% en CED en los sistemas de cultivo hidropónico, mientras que en los sistemas de cultivo en suelo fue del 27 (GWP) y 20% (CED). Esto se debió principalmente al elevado consumo de energía en la fabricación de los plásticos utilizados y al procesado y transporte de la fibra de coco. Sin embargo, en los sistemas de cultivo hidropónico (*b, d y f* en Fig. 2) se redujo el impacto ambiental frente al cultivo en suelo en las categorías AP y EP, que pasaron de AP = 29% y EP = 18% a AP = 18% y EP = 10% como consecuencia de la recuperación del lixiviado de NO_3 y PO_4 del agua de riego.

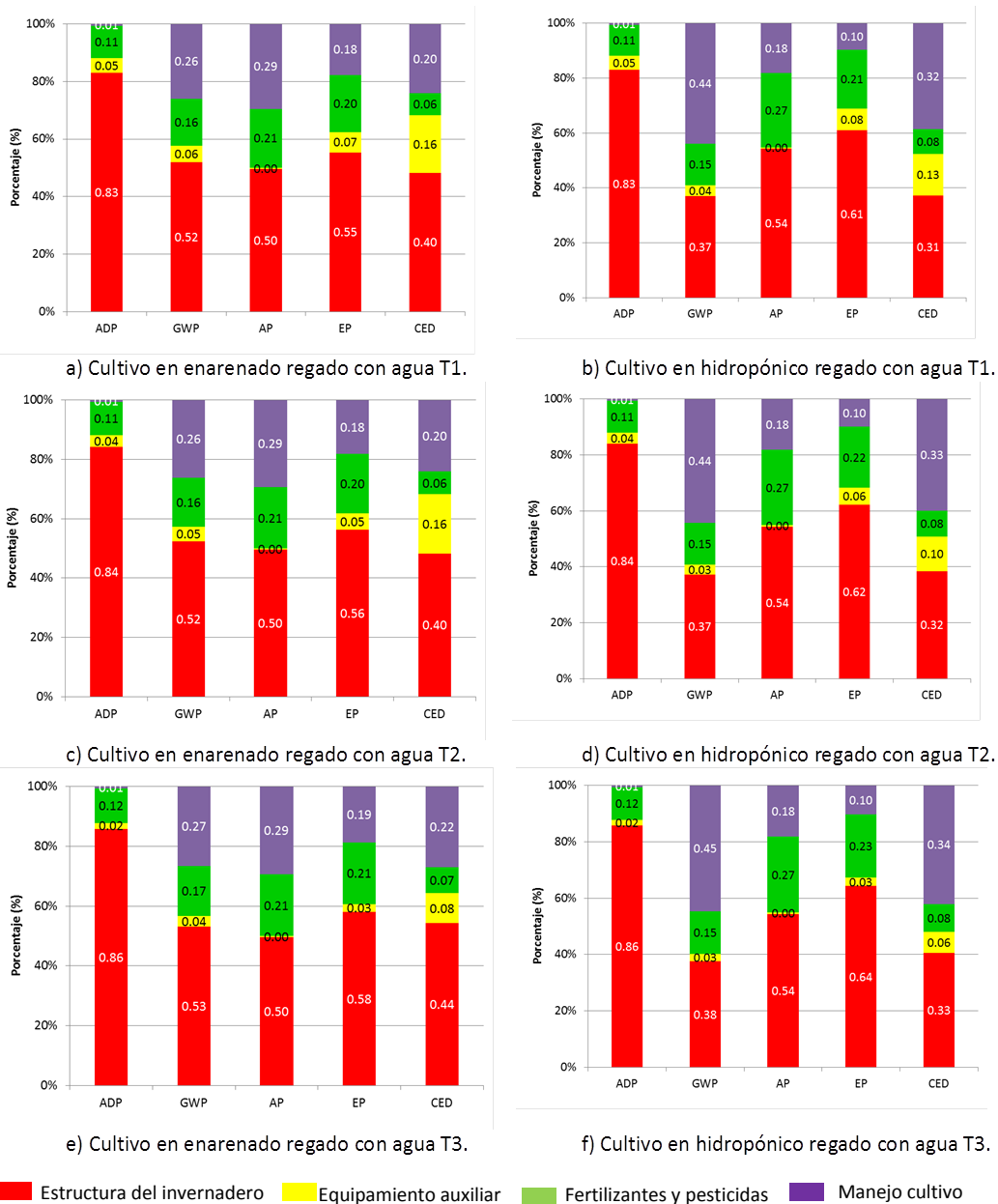


Figura 2. Contribución ambiental de cada fase (ver colores de barras) para las categorías de impacto consideradas (ADP: agotamiento de recursos; GWP: calentamiento global, AP: acidificación, EP: eutrofización; CED: demanda de energía) en las 6 estrategias de producción de tomate bajo invernadero. T1: agua procedente de desaladora; T2 y T3 mezclas de agua de desaladora y agua de pozo.

Finalmente, en la Fig. 3 se muestra el balance de CO₂ considerando la fijación de CO₂ del cultivo (Victoria et al., 2010); lo que supone una reducción del 30-34% de las emisiones totales de CO₂. En general, la fijación de CO₂ por unidad de superficie es mayor en el cultivo hidropónico que en el cultivo en suelo (-11558 vs -9288 MgCO₂/ha) debido a la mayor producción del cultivo hidropónico. Por otra parte, las emisiones de CO₂ generadas en el cultivo hidropónico también fueron mayores. En general las emisiones netas de CO₂ obtenidas en este ensayo son mayores de lo inicialmente previsto en la memoria del proyecto debido a:

- La producción (kg/m^2), como consecuencia de realizar ciclos cortos, ha sido aproximadamente la mitad de lo indicado en la bibliografía, para la zona de Almería (16.5 kg/m^2 , Torrellas et al., 2011) al tratarse de un ciclo de invierno, y el objetivo no fue obtener la máxima producción.
- El sustrato utilizado en el cultivo hidropónico (sacos de fibra de coco) solo se ha utilizado para un ciclo de cultivo, mientras que los agricultores generalmente lo utilizan para cuatro ciclos (2 años). Este aspecto es muy importante puesto que hay que tener en cuenta que las emisiones de CO_2 de la fase de manejo del cultivo (barras lilas en Fig. 2) suponen un 44-45% de las emisiones totales de CO_2 , y a su vez el sustrato aporta el 55% de las emisiones de esa fase (datos no mostrados).

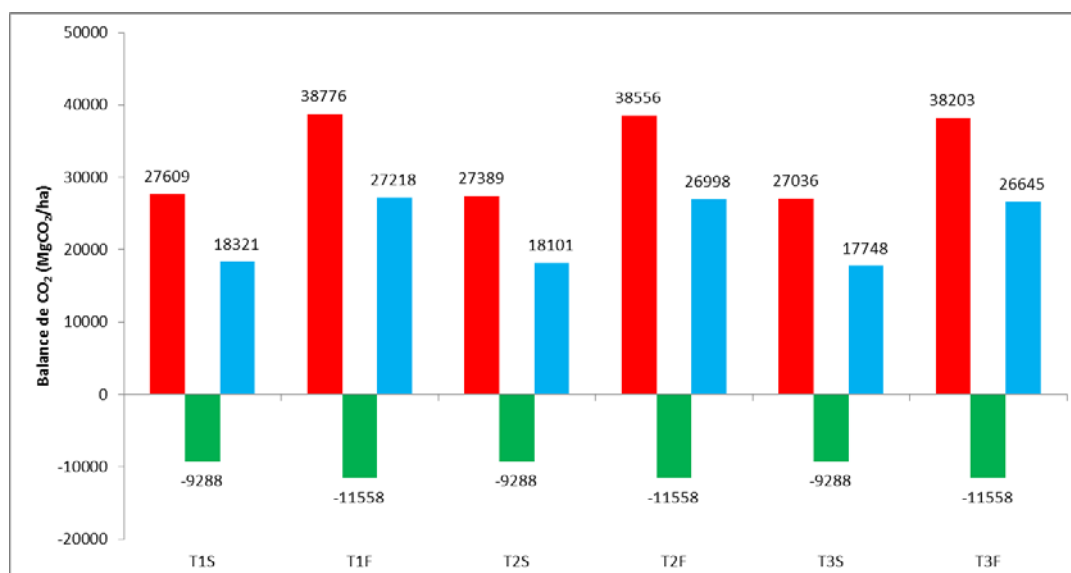


Figura 3. Emisiones de CO_2 (barras rojas), fijación de CO_2 (barras verdes) y balance neto de CO_2 (Mg CO_2 /ha) en las 6 estrategias de producción de tomate bajo invernadero. T1: agua procedente de desaladora; T2 y T3 mezclas de agua de desaladora y agua de pozo (S: suelo, F: fibra de coco).

4. Conclusiones

Las principales conclusiones obtenidas respecto a la sostenibilidad medioambiental del riego con AMD en sistemas hidropónicos con reutilización de drenajes para el cultivo de tomate bajo invernadero son:

- El empleo de AMD supone un aumento leve (inferior al 5%) del impacto ambiental en la mayoría de categorías de impacto analizadas.
- La reutilización de drenajes reduce la acidificación, eutrofización y agotamiento de recursos, pero aumenta el calentamiento global y demanda de energía acumulada.



- El cultivo hidropónico con reutilización de drenajes permite incrementar en un 44% la eficiencia en el uso del agua con respecto al cultivo en suelo.
- Los valores de las emisiones netas de CO₂ obtenidas en este ensayo son mayores de lo inicialmente previsto en la memoria del proyecto debido a una baja producción asociada a la realización de ciclos cortos de cultivo y un elevado uso de insumos, que ha repercutido en el incremento del valor de final de las emisiones netas de CO₂.

Referencias

- Antón A., Montero J.I., Muñoz P., Castells F. 2005. LCA and tomato production in Mediterranean greenhouses, *Int. J. Agric. Resour. Gov. Ecol.* 2005, 4 (2), 102–112.
- Audsley E., Alber S., Cliff R., Cowell S., Crettaz P., Gaillard G., Hausheer J., Jolliet O., Kleijn R., Mortensen B., Pearce D., Roger E., Teulon H., Weidema B., van Zeijts H. 1997. Harmonisation of environmental life cycle assessment for agriculture. Final report concerted action AIR3- CT94-2028. European Commission DG VI Agriculture, Reino Unido.
- Audsley E. 2000. Systematic procedures for calculating agricultural performance data for comparing systems. En: Weidema, B., Meeusen, M. (eds.). *Agricultural data for life cycle assessments*, 1, 35–46. Agricultural Economics Research Institute, La Haya, Países Bajos.
- Brentrup F., Küsters J., Lammel J., Kuhlmann H. 2000. Methods to estimate on-field nitrogen emissions from crop production as an input to LCA studies in the agricultural sector. *Int. J. Life Cycle Assess.* 5(6), 349–357.
- Castoldi N., Bechini L., Ferrante A. 2011. Fossil energy usage for the production of baby leaves. *Energy*, 36, 86–93.
- Ecoinvent, 2018. Ecoinvent Data. Swiss Centre for Life Cycle Inventories [<http://www.ecoinvent.org>]
- Guinée J.B., Gorrée M., Heijungs R., Huppes G., Kleijn R., de Koning A., van Oers L., Wegener Sleeswijk A., Suh S., Udo de Haes H.A., de Bruijn H., van Duin R., Huijbregts M.A.J. 2002. Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards. Part III: Scientific background. Kluwer Academic Publishers, ISBN 1-4020-0228-9, Dordrecht, 692 p.
- Martinez-Mate M.A., Martin-Gorriz B., Martínez-Alvarez V., Soto-García M., Maestre-Valero J.F. 2018. Hydroponic system and desalinated seawater as an alternative farm-productive proposal in water scarcity areas: energy and greenhouse gas emissions analysis of lettuce production in southeast Spain. *J. Clean. Prod.* 172, 1298–1310.
- PRe Consultants, 2018 [www.pre-sustainability.com]
- Torrellas M., Antón A., Montero J.I. Baeza E.J., López J.C., Pérez Parra J. 2011. Estudio del impacto ambiental del cultivo de tomate en un invernadero multitúnel. *Revista de Horticultura*. <http://www.interempresas.net/Horticola/Articulos/47367-Estudio-del-impacto-ambiental-del-cultivo-de-tomate-en-un-invernadero-multitunel.html> (accessed 24 Jun 2019).
- Victoria F. 2010. Etiquetado de carbono en las explotaciones y productos agrícolas. La iniciativa murciana como sumidero de CO₂. CARM. <http://www.lessco2.es/documentacion.htm> (accessed 24 Jun 2019).