

Implementación sistema fertirriego por goteo localizado en cultivo de tomate tipo chonto Santa Clara (*Lycopersicum esculentum* = *Solanum lycopersicum*) cultivar Roble 956 F1 bajo condiciones de invernadero

Implementation of localized drip fertigation system in Santa Clara Chonto (*Lycopersicum esculentum* = *Solanum lycopersicum*) tomato cultivar Roble 956 F1 under greenhouse conditions

doi: <http://doi.org/10.23850/23899573.3589>

Recibido: 01.02.2021 Aceptado: 02.09.2021

Rubén Carvajal Caballero
Servicio Nacional de Aprendizaje SENA
rcarvajalc@sena.edu.co
Colombia

Para Citar:

Carvajal, R. (2021) Implementación sistema fertirriego por goteo localizado en cultivo de tomate tipo chonto Santa Clara (*Lycopersicum esculentum* = *Solanum lycopersicum*) cultivar Roble 956 F1 bajo condiciones de invernadero, *Revista SENNOVA: Revista del Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación*, 6 (1), 11-24. doi: [doi:http://doi.org/10.23850/23899573.3589](http://doi.org/10.23850/23899573.3589)

RESUMEN

En el sector rural existe bajas productividades cuando se manejan modelos de producción a campo abierto y sin procesos tecnificados de riego y nutrición (Fertilización), afectando cultivos sensibles humedad del entorno tales como pepino, sandía y cultivos de flores, entre otros. Es pertinente entonces mejorar los modelos productivos a través de sistemas de producción bajo el enfoque de agricultura protegida con la implementación de sistemas de fertirriego de alta eficiencia. Se establecieron dos sistemas de producción de tomate chonto Roble F1 (*Lycopersicum esculentum* = *Solanum lycopersicum*), un sistema de siembra en bolsa y el otro bajo la modalidad de siembra en surcos. La densidad de siembra en ambos sistemas fue de 4 plantas por metro cuadrado. Se logro obtener rendimientos de 20 kilogramos por metro cuadrado bajo la modalidad de siembra en surcos y 16 kilogramos bajo la modalidad de siembra en bolsas. Se presentaron mayores afectaciones sanitarias en el sistema de siembra en bolsa. Se considera que con el plan de manejo nutricional bajo fertirrigación se lograron obtener altos rendimientos comparados con los que se obtienen normalmente a campo abierto

Palabras clave: *Fertirriego, invernadero, tomate*

ABSTRACT

In the rural sector there are low productivity when using open field production models and without technical irrigation and nutrition processes (Fertilization), affecting crops sensitive to humidity in the environment such as cucumber, watermelon, and flower crops, among others. It is therefore pertinent to improve production models through production systems under the protected agriculture approach with the implementation of high-efficiency fertigation systems. Two production systems for Roble F1 chonto tomato (*Lycopersicum esculentum* = *Solanum lycopersicum*) were established, one system of bag sowing and the other under the modality of sowing in rows. The sowing density in both systems was 4 plants per square meter. Yields of 20 kilograms per square meter were obtained under the modality of sowing in furrows and 16 kilograms under the modality of sowing in bags. There were greater sanitary effects in the bag sowing system. It is considered that with the nutritional management plan under fertigation, high yields were obtained compared to those normally obtained in the open field.

Keywords: *Fertigation, greenhouse, tomato*

INTRODUCCIÓN

En el sector frutícola de la Provincia de García Rovira ubicada en el Departamento de Santander - Colombia se presentan bajos niveles de eficiencia en el uso del agua y de los nutrientes con los cuales cuenta el suelo para el uso de cultivos. Parte de las causales de esta problemática está relacionada con la escasez del recurso agua o el uso excesivo de la misma, el uso de modelos ineficientes de fertilización, la implementación de sistemas de riego de baja eficiencia, el desconocimiento por parte de los productores de los requerimientos hídricos y nutricionales de los cultivos hortofrutícolas. Autores como Chartzoulakis & Bertaki (2015) plantean que la eficiencia del riego es muy baja, ya que menos del 65% del agua aplicada es utilizada realmente por los cultivos (Chartzoulakis & Bertaki, 2015).

Para otros autores como Farooq, Wahid, Kobayashi, Fujita, Basra (2009) la escasez de agua es una restricción ambiental severa para la productividad de la planta. El rendimiento de los cultivos se ve críticamente afectado por la sequía tanto por la duración como por la gravedad de esta, causando mayores pérdidas que por otras causas. La situación es tan crítica que las reducciones en los rendimientos de diferentes cultivos (cebada, maíz, arroz, soya, papa, girasol, canola) pueden ser del 13 al 94%, dependiendo del estado de crecimiento (Farooq, Wahid, Kobayashi, Fujita, Basra, 2009).

En consecuencia, muchos agricultores de todo el mundo utilizan tremendamente los sistemas de riego, lo que supone una gran preocupación por su elevado consumo

de agua de diversas fuentes. Esto requiere un mayor enfoque en mejorar la eficiencia del uso del agua en la agricultura de riego (Abioye et al., 2020).

Por otro lado, el nitrógeno (N) es el nutriente más importante para los cultivos, su uso como fertilizante está asociado con grandes pérdidas. Estas pérdidas contaminan el medio ambiente y aumentan la producción de gases de efecto invernadero y otros eventos ambientales asociados con la alta volatilización del amoníaco y la emisión de óxido nitroso. También provocan la lixiviación y escorrentía de nitratos del suelo que contaminan las aguas superficiales y subterráneas, con implicaciones para la salud humana (Dimkpa et al., 2020).

La solución a esta problemática la han brindado los sistemas de riego tecnificados, los cuales tienen el objetivo de poner a disposición de las plantas el agua necesaria para su desarrollo y producción, a manera que estas no sufran déficit hídrico en ningún momento, que puedan significar pérdidas en rendimiento y calidad. En particular, con el sistema de riego por goteo se consiguen las aplicaciones de agua más uniformes, seguido por el de microaspersión, luego el de aspersión y por último el de gravedad (INTAGRI, 2017).

Para INTAGRI (2017) la eficiencia de los sistemas de riego por goteo tiene porcentajes de eficiencia del 90-95%, mientras que los sistemas por microaspersión y aspersión tienen eficiencias del 85% y 75% y menos del 50% los sistemas de riego por inundación. Según Romo P, los grandes avances agrícolas en diversos países en los últimos años muestran que cada vez son más los ca-

sos exitosos en el desarrollo y crecimiento de la agricultura tecnificada que incorporan en sus procesos sistemas tecnificados de fertirriego (Romo P, 2018).

Igualmente, la productividad de los cultivos y el agua se puede mejorar a través del establecimiento de sistemas de fertirrigación por goteo (Chauhdary et al., 2019).

La fertirrigación ha sido probada como una buena práctica agrícola para cultivos bajo invernadero con respecto a la eficiencia del uso de agua y fertilizantes, como también con respecto a la frecuencia y cantidad de aplicación del agua y de los fertilizantes, generando importantes efectos sobre la generación de altos rendimientos y la mejora de la calidad del producto, por ejemplo, hojas más verdes, tubérculos y raíces con altas proporciones de nutrientes y un número más elevado de frutos por planta. (Dong et al., 2018)

Mejorar la gestión del riego y la fertilización para lograr una mayor productividad es fundamental para abordar la escasez de agua.

La tecnología de fertirrigación es reconocida como una nueva tecnología de alta eficiencia para el control de agua y fertilizantes. Se ha confirmado que la tecnología de la fertirrigación puede mejorar el rendimiento de los cultivos y la calidad de las hortalizas y las frutas. Para INTAGRI (2017) la fertirrigación es la técnica que hace más eficiente el uso del agua y nutrientes, ya que son suministrados al mismo tiempo y de manera localizada. Entre las ventajas más notables están el ahorro de fertilizantes, el suministro fraccionado de nutrientes y mayor eficiencia en el uso de agua. Sin embargo, su mayor limitante está en la inversión inicial, ya que requiere sistemas de riego de alta frecuencia y eficiencia con la fi-

nalidad de aprovechar cada gramo de fertilizante aplicado en el riego. Para llevar a cabo el proceso de la fertirrigación es necesario implementar 1 sistemas de riego de alta eficiencia, que puede ser sistemas de fertirriego por goteo localizado superficial. Para INTAGRI (2017) el riego por goteo es actualmente el sistema más eficiente (hasta el 90 - 95 % de eficiencia) para aplicar el agua a los cultivos, ya que permite suministrar el agua gota a gota formando un bulbo de humedad en la zona radicular, además, es el sistema más recomendable para la fertirrigación, ya que los fertilizantes son agregados en la zona de mayor cantidad de raíces absorbentes, además la lixiviación de nutrientes es mínimo al no tener excedentes de agua. Su principal reto es el manejo de la calidad del agua y el manejo óptimo de la compatibilidad de fertilizantes, pues ante un mal manejo los goteros son altamente susceptibles al taponamiento. En comparación con los sistemas de riego tradicionales evita el crecimiento de malezas en todos los bordes, pues el riego es localizado, además tiene ventajas como la posibilidad de ubicar la línea de riego en dos posiciones: superficial y enterrada. Los componentes principales de este sistema son: bomba, cabezal de control, líneas de distribución, laterales y emisores (goteros). Para Romo P (2019) un sistema de fertirriego con adecuado diseño agronómico, hidráulico, geométrico, manejo técnico adecuado, sistema de monitoreo y mantenimiento preventivo generan resultados tangibles, incrementando el rendimiento y calidad de los cultivos, dadas sus múltiples ventajas como la alta eficiencia agronómica de los fertilizantes solubles de fertirriego o su uso en campo abierto aún en épocas o zo-

nas con lluvias, entre otras. Un fertirriego es exitoso si se conocen y controlan todos los aspectos en él involucrados, partiendo desde el diseño agronómico, el diseño hidráulico, la adecuada implementación con el uso de componentes de buena calidad, manejados operados y retroalimentados con un adecuado concepto del fertirriego con base en una adecuada capacitación o asesoría técnica a los agricultores. La transferencia tecnológica adecuada y acertada en fertirriego es una herramienta fundamental para incrementos sustanciales de productividad, con el fin de mejorar su eficiencia productiva, optimizar sus costos de producción, generando mayor competitividad en el mercado y disminuyendo la dependencia del comportamiento de los precios en el mercado. El fertirriego es una herramienta que implica una adecuada capacidad técnica hacia la transferencia de tecnología, para lograr los objetivos de las compañías agrícolas y así fortalecer la producción de alimentos con incrementos en la productividad de los cultivos, optimizando el uso de los recursos del agua, el suelo y el clima con aras de alimentar más y mejor a una población mundial en crecimiento acelerado. (Romo, P. 2019)

La fertirrigación por goteo puede sincronizar el suministro de agua y nitrógeno (N) con la demanda de los cultivos, ofreciendo el potencial para mejorar la productividad del agua (WP) y la eficiencia del uso del nitrógeno (NUE) (Li et al., 2021). Los mismos autores mostraron que la fertirrigación por goteo condujo a rendimientos significativamente más altos (12.0%), productividad hídrica (WP) (26.4%) y eficiencia en el uso del nitrógeno (EUN) (34.3%), mientras que

disminuyó significativamente la evapotranspiración del cultivo (ET) en un 11.3%, en comparación con las prácticas de los agricultores referidas a riego tradicional por surco o inundación y fertilización por voleo de fertilizante nitrogenado (difusión de fertilizante nitrogenado sin riego en la agricultura de secano). Sin embargo, el grado de mejora dependía en gran medida de los tipos de cultivo y estaba sujeto a factores edáficos, climáticos y de gestión. Entre los tipos de cultivos, la papa mostró el mayor incremento en rendimiento (40,3%) y WP (100,3%), y la fruta mostró el mayor incremento en EUN (68,2%). A escala regional, la fertirrigación por goteo se desempeñó mejor en las regiones semiáridas. Según (Liu et al., 2020) el riego y la fertilización juegan un papel clave en la producción de cultivos.

Para Romo P (2019) uno de los principales beneficios de los sistemas de fertirriego, radica en la alta eficiencia agronómica de los fertilizantes solubles aplicados por el sistema en comparación con los fertilizantes edáficos aplicados tradicionalmente sobre el suelo. Esta eficiencia agronómica es superior por las siguientes razones: estar disponibles inmediatamente para la planta al ser solubles en el agua de riego y por ende en el suelo; calidad técnica de las fuentes (un nitrógeno nítrico es más eficiente que un nitrógeno ureico, un nitrato de potasio es más eficiente que un cloruro de potasio, un elemento menor en quelato es más eficiente que un sulfato, etc.); baja salinidad de los fertilizantes solubles; alta frecuencia de aplicación en función de los requerimientos de la planta; baja dosis de cada aplicación; menor riesgo de lavado con las lluvias; menor interacción con el suelo;

disponibilidad de nutrientes aplicados con un pH óptimo a la salida de los goteros o microaspersores (difusores); uniformidad en la aplicación, entre otros aspectos. Para el mismo autor bajo modelos tradicionales de fertilización la eficiencia agronómica de los fertilizantes para el N es cercana al 50%, la de P es del 25%, la de K del 58%, la del Ca, Mg y S llegan al 50% y la de elementos menores está por debajo del 30%. Pero bajo modelos de fertirriego, la eficiencia agronómica de los fertilizantes aumenta considerablemente siendo la del N cercana al 80%, la de P 50%, la de K llega al 90%, y la de Ca, Mg, S y elementos menores llega casi al 80 %.

METODOLOGIA

Área de estudio

El estudio se desarrolló en La Finca Manarria, Vereda Bombona del Municipio de Concepción a 2050 msnm, con precipitación promedio de 1300 mm por año, con humedad relativa entre el 60 al 80% y temperatura promedio entre 17 y 18 grados centígrados.



Material vegetal

El material vegetal utilizado fueron plántulas de tomate tipo chonto Santa Clara (*Lycopersicon esculentum* = *Solanum lycopersicum*) cultivar Roble 956 F1 adquirido en la empresa Impulsemillas de 30 días listos para siembra en sitio definitivo, las cuales se sembraron bajo condiciones de invernadero en distancias entre surco de 1.2 m y entre plantas de 0.2 m. Para el material que fue sembrado en bolsas, se utilizaron bolsas de plástico con dimensiones de 30 cm por 25 cm para una capacidad de 10 kilogramos en sustrato

Para la ejecución del proyecto se procedió de la siguiente forma

ACTIVIDAD:

- Diseño y establecimiento de invernaderos.
- Preparación de sustratos para llenado de bolsas y preparación de suelos
- Establecimiento de plántulas de tomate Chonto Roble F1 larga vida
- Establecimiento sistema de fertirriego
- Elaboración del plan de nutrición
- Seguimiento del crecimiento de la plantación
- Estimación de rendimientos en kilogramos por metro cuadrado

ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

a. Diseño y establecimiento de invernaderos

Se implemento el diseño de invernadero tipo multitunel con sistema de ventilación do-

ble en la parte central. Tres metros de altura e los laterales y 4.5 metros en el centro. Se uso plástico tipo invernadero calibre 7 con protección UV para laterales y cubrimiento de arcos. Para canales se usó plástico invernadero calibre 10 de un metro de ancho. Se construyeron dos invernaderos uno de 480 m² para siembra de tomate en bolsa y otro de 600 m cuadrados para siembra de tomate en suelo. Ver Figura 1 y 2.



Figura 1. Construcción y establecimiento invernadero



Figura 2. Invernadero para siembra de tomate en bolsa e invernadero para siembra de tomate en suelo

b. Preparación de sustratos para llenado de bolsas, preparación de suelos y colocación de tutores y guaya

El sustrato para llenado de bolsas fue tres partes de suelo francoarenoso y una parte de cascarilla de arroz y la bolsa que se uso fue de 22 cm de ancha por 30 cm de alta con fuelle y calibre 4 con protección UV. El invernadero para siembra de tomate en suelo tenía textura francoarcilloarenosa y la pre-

paración de suelos se hizo con motocultor y se construyeron surcos en dirección oriente - occidente. Las distancias de siembra usadas en ambos invernaderos fueron entre surcos 1.2 m y entre plantas 0.2 m y con tutores de madera de Eucaliptus de 2.8 m de largo por 0.8 cm de ancho por ambos lados y la altura para la colación de guaya se montó a 2.2 m y de calibre 1/8. Ver figura 3

cos, fue comprada en Impulsemillas de 35 días del tomate tipo chonto Santa Clara cultivar Roble 956 F1. Las plantas fueron plantadas en campo definitivo el 20 de agosto en ambos invernaderos. En el invernadero con sistema en bolsas se plantaron 1000 plantas mientras que en el invernadero con sistema de simbra de tomate en surcos se plantaron 2000 plantas. Ver figura 4.



Figura 3. Agrotecnia de manejo de sustratos, preparación de suelos y manejo de tutorado en tomate



Figura 4. Material vegetal de tomate tipo chonto Santa Clara cultivar Roble 956 F1

c. Establecimiento de plántulas tomate tipo chonto Santa Clara cultivar Roble 956 F1

Las plántulas que se usaron para el modelo de desarrollo tecnológico tanto en el invernadero con bolsas como en el invernadero de simbra de tomate en suelo mediante sur-

d. Establecimiento sistema de fertirriego

El sistema de fertirriego que se monto estaba compuesto de dos tanques de 1000 y 500 litros para la disolución de los nutrientes tanto mayores, como secundarios y menores. Un cabezal de riego donde estaban ubi-

cadass las llaves de paso y la unidad de filtrado. Una línea de conducción principal en manguera de pulgada y media y tubería de PVC de pulgada y las líneas de riego manejadas con cinta por goteo con emisores cada 10 cm. Se colocaron dos líneas de cinta por surco en el sistema de siembra en suelo y una línea de cinta en el sistema de siembra de tomate en bolsa. Ver figura 5.



Figura 5. Instalación sistema de fertirriego. A. Tanques de 1000 y 500 litros. B y C. Cintas por goteo. D. Cabezal de riego (Llaves de paso y unidad de filtrado).

e. Elaboración del plan de nutrición

Para la elaboración del plan de nutrición de las plantas se tuvo en cuenta la conductividad eléctrica y pH del agua. Igualmente se usaron fertilizantes de alta solubilidad garantizando el suministro de todos los nutrientes. El pH del agua para el fertirriego era de 7.6 y la conductividad eléctrica de 0.6 ms/cm. Para regular pH de agua y bajarlo a 5.7 se usaron 200 gramos de ácido cítrico y 100 cc de ácido nítrico por cada 1000 litros de agua, esto con el fin de mejorar la disolución de los nutrientes y mejorar la absorción de los nutrientes por parte de las plantas. Para efectos de estos ajustes se uso un equipo multiparamétrico de aguas marca Delta T. Se usaron dos tanques uno de 1000 litros donde se hacían las disoluciones de Nitrato de potasio, nitrato de magnesio, nitrato de calcio y fosfato monoamónico. En el tanque de 500 litros se hacían las disoluciones de sulfato de amonio, sulfato de zinc, sulfato de cobre, sulfato de hierro y sulfato de manganeso. Estas disoluciones se hacían por separado para evitar generar incompatibilidades entre fertilizantes. Diariamente se preparaban las disoluciones en ambos tanques. Esto implicaba que cada planta recibía 1.5 litros de fertirriego en el día en ciclos de 8 turnos, 4 en horas de la mañana y 4 en horas de la tarde. En el primer mes las plantas solo recibían 0.75 litros y a partir del segundo mes se le duplico la dosis de fertirriego a 1.5 litros hasta el 6 mes. Las dosis de cada fertilizante se pueden observar en la Tabla 1.

Tabla 1. Dosis de fertilizantes aplicadas al cultivo

Fertilizante	Dosis Tanque A (1000 litros)	Dosis Tanque B (500 litros)	Frecuencia	Observaciones
Ácido cítrico	200 g	100 g	Diaria	Bajar pH agua a 5,7
Ácido nítrico 100 cc		50 cc	Diaria	Bajar pH agua y aporte de nitrato
Nitrato de potasio	300 g		Diaria	Aporte de nitrógeno nítrico y potasio
Nitrato de calcio	200 g		Diaria	Aporte de nitrógeno nítrico, calcio y boro
Nitrato de magnesio	150 g		Diaria	Aporte de nitrógeno nítrico y magnesio
Fosfato monoamónico	150 g		Diaria	Aporte de nitrógeno amoniacal y fósforo
Sulfato de amonio		50 g	Diaria	Aporte de nitrógeno amoniacal y azufre
Sulfato de zinc		1 g	Diaria	Aporte de zinc y azufre
Sulfato de hierro		1 g	Diaria	Aporte de hierro y azufre
Sulfato de cobre		1 g	Diaria	Aporte de cobre y azufre
Sulfato de manganeso		1 g	Diaria	Aporte de manganeso y azufre

Estas mismas concentraciones se manejaron para ambos sistemas, tanto en el sistema de siembra de tomate en bolsa, como en el de siembra en surcos.

f. Seguimiento del crecimiento de la plantación de tomate.

El seguimiento y monitoreo del crecimiento se hacía dos veces por semana, donde se observaba problemas asociados a deficiencias o toxicidades de nutrientes, pérdida de turgencia por estrés hídrico y problemas sanitarios. Durante todo el proceso el manejo de la nutrición estuvo acorde y no se realizaron ajustes al plan de nutrición propuesto. En el caso de problemas sanitarios se realizaron 3 controles curativos para alternaria y

gota, pues se presentaron durante la segunda temporada de invierno a pesar de estar bajo invernadero. Para control de insectos se realizaron dos aplicaciones básicamente para pasador de tallo. Ver figura 6 para el desarrollo y crecimiento del tomate.



Figura 6. Crecimiento y desarrollo de cultivo de tomate Chonto Roble bajo Invernadero. A. Siembra en agosto 20 B. Estado de plantas el 19 de septiembre. C. Estado de plantas el 20 de octubre. D. Plantas llegan a la cuerda del tutorado a 2.20 m. E y F. Plantas en plena producción.

g. Estimación de rendimientos

Tabla 2. Rendimientos de los cultivos

Rendimiento tomate Chonto Roble F1 bajo invernadero					
Sistema	Tipo	Plantas por metro cuadrado	Rendimiento promedio por planta	Rendimiento promedio por metro cuadrado	Rendimiento Hectárea
Sistema 1	Siembra de tomate en bolsa	4	5 kg	20 kg	200.000 kg
Sistema 2 Siembra de tomate en surcos	Siembra de tomate en surcos	4	4 kg	16 kg	160.000 kg

De acuerdo con la tabla 2 anterior se observa que bajo condiciones de invernadero en el sistema en bolsa se presentaron menores rendimientos. La causa estuvo asociada a mayores daños producidos por le pasador de tallo y por la gota (*Phytophthora infestans*). Igualmente, estos rendimientos se lograron con un ciclo de producción de seis meses, comenzando en agosto del año 2020 y terminando en enero del 2021.

CONCLUSIONES

Por año se logran obtener 40 kilogramos por metro cuadrado bajo el modelo de siembra en surcos, bajo el modelo en bolsa se obtienen 32 kilogramos, de los cuales se observa un mejor aspecto fitosanitario del producto. Comparado con los cultivos plantados implementando el modelo de siembra en surcos, la ventaja que presenta el cultivo en bolsa es que el control de hierbas como malezas es mejor.

BIBLIOGRAFIA

- Abioye, E. A., Abidin, M. S. Z., Mahmud, M. S. A., Buyamin, S., Ishak, M. H. I., Rahman, M. K. I. A., Otuoze, A. O., Onotu, P., & Ramli, M. S. A. (2020). A review on monitoring and advanced control strategies for precision irrigation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 173(April), 105441. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105441>
- Braga, B., Chartres, C., Cosgrove, W., Veiga da Cunha, L., Gleick, P., Kabat, P., Xia, J. (2014). *Water and the Future of Humanity Revisiting Water Security*. China: Springer.
- Chauhdary, J. N., Bakhsh, A., Engel, B. A., & Ragab, R. (2019). Improving corn production by adopting efficient fertigation practices: Experimental and modeling approach. *Agricultural Water Management*, 221(October 2018), 449–461. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.02.046>

- Chartzoulakis, K. & Bertaki, M. (2015). Sustainable water management in agriculture under climate change. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 4, 88–98. <http://doi.org/10.1016/j.aas-pro.2015.03.011>
- Cook, C. (2016). Drought planning as a proxy for water security in England. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 21, 65–69. <http://doi.org/10.1016/j.cosust.2016.11.005>
- Dimkpa, C. O., Fugice, J., Singh, U., & Lewis, T. D. (2020). Development of fertilizers for enhanced nitrogen use efficiency – Trends and perspectives. *Science of the Total Environment*, 731, 139113. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139113>
- Dong, Q., Sun, Q., Hu, Y., Xu, Y., & Qu, M. (2018). Data-driven horticultural crop model for optimal fertigation management -a methodology description. *IFAC-PapersOnLine*, 51(17), 472–476. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.167>
- Farooq, M., Hussain, M., Ul-Allah, S., & Siddique, K. H. M. (2019). Physiological and agronomic approaches for improving water-use efficiency in crop plants. *Agricultural Water Management*, 219(October 2018), 95–108. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.04.010>
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, N., Basra, S. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agron. Sustain. Dev.* 29(1), 185–212. doi:10.1051/agro:2008021
- INTAGRI. 2017. Los sistemas de riego aptos para la fertirrigación. Serie Agua y Riego Num. 16. Artículos técnicos de INTAGRI. México. Extraído de <https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/los-sistemas-de-riego-aptos-para-la-fertirrigacion>.
- Li, H., Mei, X., Wang, J., Huang, F., Hao, W., & Li, B. (2021). Drip fertigation significantly increased crop yield, water productivity and nitrogen use efficiency with respect to traditional irrigation and fertilization practices: A meta-analysis in China. *Agricultural Water Management*, 244(September 2020), 106534. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106534>
- Lin, N., Wang, X., Zhang, Y., Hu, X., & Ruan, J. (2020). Fertigation management for sustainable precision agriculture based on Internet of Things. *Journal of Cleaner Production*, 277, 124119. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124119>
- Liu, R., Yang, Y., Wang, Y. sheng, Wang, X. C., Rengel, Z., Zhang, W. J., & Shu, L. Z. (2020). Alternate partial root-zone drip irrigation with nitrogen fertigation promoted tomato growth, water and fertilizer-nitrogen use efficiency. *Agricultural Water Management*, 233(1139), 106049. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106049>
- Majeed, S., Gupta, N., Nazir, M., Mahajan, R., Malik, F. A., Sofi, B.,...Salgotra, R. K. (2017). Impact of drought on photosynthesis: Molecular perspective. *Plant Gene*, 11, 154–159. <http://doi.org/10.1016/j.plgene.2017.04.003>

Mancosu, N., Snyder, R. L., Kyriakakis, G. & Spano, D. (2015). Water Scarcity and Future Challenges for Food Production. *Water*, 7, 975–992. <http://doi.org/10.3390/w7030975>

Romo P, M. A. (2018). *Conceptos Integrales de Fertirriego en el cultivo de Hortalizas*. 1–138.