

Tecnología de riego y fertirrigación en ambientes controlados

Irrigation and fertirrigation technology in controlled environment

Lorenzo E. Camejo B.¹; Leonel S. Duarte N.²; José L. Companioni S.³ y Pedro Paneque R.⁴

RESUMEN. En el presente trabajo se establecen criterios para el manejo y la operación del riego en ambientes controlados (casas de cultivo), así como el uso de la fertilización combinada y los criterios a seguir para realizar un manejo adecuado del sistema de riego de forma tal que satisfaga las necesidades hídricas del cultivo de acuerdo a la fase de desarrollo, bajo el principio de la conservación de los recursos naturales y la preservación del medio ambiente.

Palabras clave: operación, dosis y manejo.

ABSTRACT. The present paper establishes criteria for the management and the operation of the irrigation process in controlled atmospheres (green houses); as well as the use of combined fertilization and the criteria to be taken for a proper management of the irrigation system so that it meets crop water requirements according to the development phase under the principle of conservation of natural resources and environmental preservation.

Keywords: operation, dosage and handling.

INTRODUCCIÓN

Hoy uno de los problemas que más agobia a la humanidad es la falta de energía, alimentos y agua, ya no sólo para la producción agrícola, sino que se hace escasa hasta para el consumo humano.

Ello ha motivado, que se generen nuevas tecnologías de riego, con el objetivo de aumentar la eficiencia en el uso del agua y un menor consumo energético.

Ante esta problemática “escasez de agua y energía”, cual es la situación actual y perspectivas del regadío en el mundo.

Ambas concepciones “situación actual” y “perspectivas”, ocurren actualmente en medio de profundos cambios que afectan el medio ambiente y la sociedad en general. El entorno está cambiando, el CO₂ y los gases efecto invernadero están afectando el clima global y particularmente “la agricultura”. La mayor parte de los expertos están de acuerdo en reconocer

que nuestros recursos naturales serán afectados. *El agua es quizás el primero de ellos* (De Santa Olalla *et al.*, 1993). El regadío que en muchos países es un arte tan antiguo como la civilización, pero que para la humanidad es una ciencia “la de sobrevivir” deberá adaptarse de acuerdo a la nueva situación.

En los últimos años, Cuba ha sido afectada por intensas y prolongadas sequías debiendo adaptarse a esta situación, fundamentalmente en la zona centro-oriental del país donde mayor ha sido el embate de la falta de agua.

Ante esta situación el Ministerio de Agricultura, el Instituto de Recursos Hidráulicos y otros organismos del país están trabajando intensamente en un programa para el enfrentamiento y mitigación de los efectos de la sequía en el sistema productivo del Ministerio de Agricultura a corto, mediano y largo plazo, introduciendo tecnologías de riego con alta eficiencia en el uso del agua como son: el riego localizado tanto superficial como subterráneo, las máquinas de pivote

Recibido 31/01/09, aprobado 18/12/09, trabajo 14/10, investigación.

¹ Dr. C., Profesor Titular, Universidad de Ciego de Ávila, Carretera a Morón, km 9 ½, Ciego de Ávila, Cuba, CP: 69450, E-✉: pfm_eddy@ingenieria.unica.cu.

² MSc., Riego y Drenaje, Profesor Auxiliar, Universidad de Ciego de Ávila, Cuba.

³ MSc., Riego y Drenaje, Profesor Asistente, Universidad de Ciego de Ávila, Cuba.

⁴ Dr. C., Profesor e Investigador Titular, Universidad Agraria de La Habana (UNAH), Facultad de Ciencias Técnicas, La Habana, Cuba.

central eléctricas, así como el uso de tecnologías de riego por aspersión y mejora en los sistemas de riego superficiales que conlleven al menor uso del agua y la energía, electrificando paulatinamente los sistemas de bombeo para el ahorro de los componentes energéticos.

No solamente el agua va a estar afectada por el cambio climático, sino además por la creciente demanda para el consumo humano, el uso industrial, agrícola y las necesidades para preservar el medio natural. Si unido a ello, se contaminan las aguas continentales, superficiales y subterráneas por constantes derrames tóxicos, aumenta la deforestación, disminuyen las precipitaciones, aumenta la desertificación, disminuyen las reservas energéticas, que nos espera en este siglo sino se toman las medidas urgentes en el uso racional, eficiente y descontaminante de este recurso natural, imprescindible para la vida en el planeta.

En sistemas protegidos las plantas tienen condiciones ambientales diferentes con respecto a las cultivadas al aire libre, lo que conlleva a que la demanda hídrica sea diferente. Por tal razón se requiere del conocimiento de la evapotranspiración (Etc.) para establecer la adecuada programación de riego. Estudios realizados sobre el tema han reportado que la Etc se reduce hasta en un 50% en comparación con la del exterior (Castilla y Ferreres, 1990).

La precisión de la dosis y frecuencia de riego es de suma importancia para satisfacer de la forma más eficiente posible las necesidades hídricas del cultivo en cada etapa de su desarrollo.

En Cuba existe información sobre el manejo del riego en tomate en diferentes tipos de suelo, épocas de siembra, técnicas de riego y diferentes regiones agroclimáticas entre otras variables pero en condiciones protegidas solo se reporta el trabajo realizado por León (2001) en La Habana, no habiéndose realizado ningún trabajo en otras zonas del país siendo este, el primer trabajo llevado a cabo en las condiciones de la provincia Ciego de Ávila, el cual está orientado a determinar el manejo del riego más adecuado del tomate protegido en condiciones ambientales de la provincia.

Es por ello que Cuba se ha trazado la política de incrementar la producción de vegetales en ambientes controlados (casas de cultivo), así como en sistemas de organopónicos a lo largo del país, haciendo un uso racional del agua, fertilizantes, materiales orgánicos y controles biológicos, utilizando al mínimo los pesticidas químicos y con ello, producir alimentos bajo el principio de la conservación de los recursos naturales y la preservación del medio ambiente.

El objetivo del estudio consistió en establecer el mejor y más eficiente manejo del riego, así como el uso de hormonas para la fecundación del tomate aplicándose en horas de la mañana y en horas de la tarde.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se efectuó en los invernaderos de la Empresa Cítricos “Ciego de Ávila” y en la Cooperativa de Producción Agropecuaria (CPA) “Paquito González” en la provincia de Ciego de Ávila, donde existen grandes extensiones de casas

de cultivo dedicadas a la producción de hortalizas frescas para atención al turismo y la población. En las Figuras 1a y 1b se muestran los mapas de la micro localización de las casas de cultivos (invernadero) en la empresa y la CPA respectivamente.



FIGURA 1a. Mapa de la micro localización de las casas de cultivos en la Empresa Cítricos “Ciego de Ávila” en Ceballos.



FIGURA 1b. Mapa de la micro localización de las casas de cultivos en la CPA “Paquito González”.

Es de señalar que el trabajo sólo se desarrolló en el cultivo del tomate, por ser uno de los de mayor importancia en la producción de invernaderos en Cuba.

En el riego se evaluó, dosis por fase de desarrollo, requerimientos hídricos por fase y total, así como distribución de la humedad en el cantero.

Los sistemas de riego utilizados en las casas de cultivo en Ciego de Ávila se establecen con doble lateral, donde cada late-

ral riega una hilera de plantas en el cantero compuesto por dos hileras de plantas, realizándose la siembra a tres bolillo, o sea, triangular utilizándose tuberías con goteros autocompensados y autolimpiantes tipo RAM 16 con las siguientes características: grosor de la pared 1,20 mm, caudal (1,2-3,5 L/h), presión de operación (0,5–4,0 bar), diámetro interno 17,5 mm.

En coordinación con la dirección provincial de suelos y fertilizantes, se tomaron las propiedades hidrofísicas fundamentales de estos suelos, así como de los estudios realizados por Camejo (1983), las que se muestran en la Tabla 1.

TABLA 1. Propiedades hidrofísicas fundamentales de los suelos en Ciego de Ávila donde se ubican las casas de cultivo (invernaderos)

Perfil (cm)	Capacidad de campo(%bss)	Densidad aparente (g/cm ³)
0-10	30,75	1,34
11-20	30,50	1,34
21-30	30,00	1,34
31-40	32,70	1,32
41-50	30,25	1,31

La norma parcial por fase de desarrollo se determinó por la expresión que aparece en el trabajo “Riego y Drenaje” de Pacheco *et al.* (1995), citado por Camejo (2009):

$$Mpn = 100 \cdot H \cdot Da \cdot (CC \cdot LP)$$

Donde:

Mpn-Norma parcial neta, m³/ha;

H-Profundidad de la capa activa, m;

Da-Densidad aparente del suelo con respecto a la densidad del agua;

CC-Capacidad de campo, % bss;

LP-Límite productivo, % bss.

En Cuba el cultivo protegido constituye una transferencia tecnológica reciente, que se inició en 1990 a escala de producción y los resultados más importantes están relacionados con la variedad, tipo de instalación y algunas prácticas de manejo agronómico (Casanova, 1997).

El trabajo se desarrolló en la Empresa Cítricos Ciego de Ávila y en la CPA “Paquito González”, siendo el cultivo objeto de estudio el tomate, variedad FA 180. Las plántulas de cepellón fueron transplantados a los 23 días en canteros de 1,6 m de ancho, con dos hileras de plantas separadas a 0,6 m y distancia entre plantas de 0,4 m.

Se utilizó casa tipo tropical de Carisombra S.A.⁵, con un largo de 22,5 m, ancho de 12 m y altura máxima de 4,6 m. La cubierta plástica está compuesta por láminas flexibles de polietileno de 0,2 mm de espesor, de color natural y 83% de transmisión global de la luz visible. Posee ventilación lateral y ventana cenital, ambas con malla antiáfidos. En las Figuras 2 y 3 se muestran las casas de cultivo (invernaderos) utilizados.

Las labores de preparación del suelo y prácticas culturales se realizaron como indican las exigencias técnicas, agrotécni-

cas y de explotación para las labores mecanizadas en cultivos protegidos (Villarino y Ríos, 2004).

Se aplicó fertilizante mineral en parte y aplicaciones de materia orgánica, utilizándose como fertilizante orgánico el humus de lombriz + cachaza. Una primera aplicación de cachaza + humus se realizó antes del trasplante a razón de 2.0 kg/m² + 1,5 kg/m² respectivamente y posteriormente se aplicó la misma cantidad a los 25, 35, 50 y 75 días después del trasplante. El fertilizante mineral se aplicó fósforo y potasio en el momento del trasplante y se fraccionó en nitrógeno en 4 ocasiones.

El control fitosanitario se realizó con productos biológicos y orgánicos dentro de la casa de cultivo y en sus alrededores.



FIGURA 2. Vista exterior de las casas de cultivo.

En sistemas protegidos las plantas tienen condiciones ambientales diferentes con respecto a las cultivadas al aire libre, lo que conlleva a que la demanda hídrica sea diferente. Por tal razón se requiere del conocimiento de la evapotranspiración (ET_c) para establecer la adecuada programación de riego. Estudios realizados sobre el tema han reportado que la ET_c se reduce hasta en un 50 % en comparación con la del exterior (Castilla 1990).

⁵ La mención de marcas comerciales de los equipos, instrumentos o materiales específicos obedece únicamente a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos por la dirección de la revista, la que tampoco se responsabiliza con los criterios emitidos con relación a productos de determinada firma comercial.



FIGURA 3. Vista interior de una de las casas de cultivo en el cultivo del tomate.

La precisión de la dosis y frecuencia de riego es de suma importancia para satisfacer de la forma más eficiente posible las necesidades hídricas del cultivo en cada etapa de su desarrollo.

En Cuba existe información sobre el manejo del riego en tomate en diferentes tipos de suelo, épocas de siembra, técnicas de riego y diferentes regiones agroclimáticas entre otras variables, pero en condiciones protegidas solo se reporta el trabajo realizado por León y Cun (2001) en La Habana, no habiéndose realizado ningún trabajo en otras zonas del país, siendo éste, el primero llevado a cabo en las condiciones de la provincia Ciego de Ávila, el cual está orientado a determinar el manejo del riego más adecuado del tomate protegido en condiciones ambientales de la provincia.

Para la programación de riego se fijó la frecuencia de dos días y la dosis se calculó por el método descrito por Doorenbos y Pruitt (1977) y la relación planteada para el coeficiente de cultivo por Allen *et al.* (2006), mediante la expresión $ET_c = K_c \cdot ET_o$. La ET_o se calculó por el método de cubeta "Clase A" mediante la expresión $ET_o = E_o \cdot K_p$. Al no contar con el evaporímetro en el interior de la casa se calculó la ET_o del exterior y se redujo en 45%.

Los coeficientes K_c utilizados en el procedimiento fueron obtenidos experimentalmente para las condiciones de Cuba por León y Cun (2001), los cuales están expresados en la Tabla 2.

El sistema de riego utilizado fue goteo, diseñado con dos laterales portagotero por cantero, separados entre sí a 0,60 m.

TABLA 2. Coeficientes de cultivo del tomate protegido

Fases	Kc
Desarrollo vegetativo	0,54
Floración	0,98
Fructificación	1,08
Maduración cosecha	0,79

En el suelo se tomaron muestras cada 10 cm de profundidad hasta 30 cm, utilizándose barrenas de humedad, pesafiltros previamente tarados, secado en estufa a 105°C y procesado por método gravimétrico.

En las cosechas se evaluó el rendimiento y sus componentes. Según el calibre, los frutos se clasificaron en tres categorías, los frutos de primera fueron aquellos con más de 8 cm de diámetro ecuatorial, entre 5 y 8 cm los de segunda y con menos de 5 cm los de tercera. También se determinó el peso unitario promedio de los frutos.

Otro de los problemas abordados en este trabajo fue la aplicación de hormonas como sustituto del polen, teniendo en cuenta las condiciones de la provincia Ciego de Ávila. Se realizaron ensayos aplicando la hormona después de las 4:00 p.m., cuando la radiación solar va disminuyendo. En los ensayos realizados con la misma variedad de tomate en dos casas de cultivo sembrados en la misma fecha con igual tecnología agrícola, se aplicó la hormona en una como estaba establecido alrededor de las 9:00 a.m. y en la otra casa a las 4:30 p.m.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La norma total de riego neta aplicada indica que el tomate en casa de cultivo tipo tropical, en el periodo de febrero – mayo requiere una dosis total que puede oscilar alrededor de 500 L/m², y con ciclo diciembre–marzo alrededor de 450 L/m² (Tablas 3 y 4) siendo estos valores muy inferiores a los que requeriría en condiciones no protegidas para la zona de Ciego de Ávila, que se caracteriza por ser la zona de mayor poder evaporante en Cuba (Camejo, 1983). Este comportamiento se debe a que la ET_c en casas de cultivo disminuye significativamente, producto de la disminución de la E_v (evaporación), que según varios autores llega a representar hasta el 50% de la obtenida al aire libre (Castilla y Ferreres, 1990; Hernández, 1998 y León y Cun, 2001). Por dicha razón, las casas de cultivo pueden considerarse un sistema productivo eficiente para reducir el consumo de agua de los cultivos.

TABLA 3. Resultados del régimen hídrico por fase de desarrollo del cultivo Empresa Cítricos Ceballos (febrero – mayo)

	Fases vegetativas					Todo el ciclo
	Establecimiento	Desarrollo vegetativo	Floración	Fructificación	Maduración	
No riegos	6	14	12	16	26	74
Norma neta Total (L/m ²)	35,4	74,8	80,3	118,6	191,5	500,6
Norma neta Parcial (L/m ²)	5,9	5,3	6,69	7,41	7,36	6,53

10:30 a.m. observándose poca formación de frutos debido a que la hormona demora alrededor de dos horas en transitar por el tubo polínico y llegar al óvulo para fecundar y durante ese tiempo estaba elevándose la temperatura dentro del invernadero y al alcanzar más de 30 °C la hormona se descompone en el tránsito por el tubo polínico y no llega al óvulo abortando el fruto.

Se realizaron ensayos aplicando la hormona después de las 4:00 p.m., cuando la radiación solar va disminuyendo, lográndose con ello un alto número de flores convertidas en frutos y elevar sensiblemente la producción de tomate en los invernaderos, en los ensayos realizados con la misma variedad de tomate en dos casas de cultivo sembrados en la misma fecha con igual tecnología agrícola, se aplicó la hormona en una como estaba establecido alrededor de las 9:00 a.m. y en la otra casa a las 4:30 p.m., obteniéndose un rendimiento cinco veces superior en la que se aplicó la hormona por la tarde comparada con las que se le aplicó la hormona por la mañana, tanto en la Empresa Cítricos Ceballos como en la CPA "Paquito González".

CONCLUSIONES

- La Etc. estimada por el método basado en la relación del conjunto suelo- planta-atmósfera proporcionó un régimen hídrico acorde a las exigencias del cultivo, es decir, la aplicación de dosis de riego relativamente bajas y alta frecuen-

cia, siendo de 6,53 L/m² cada 2 días en la Empresa Cítricos Ceballos y de 6,83 L/m² en la CPA para una dosis total de 500,6 y 458,1 L/m² respectivamente distribuida en 74 y 69 riegos. En cultivo protegido resulta práctico la programación de riego por el método bioclimático. En casa de cultivo o túnel tropical, se puede obtener rendimientos superiores a 7 kg/m² con más del 50% de los frutos de primera calidad, utilizando una programación de riego que mantenga un nivel de humedad, en el perfil de 0–30 cm de profundidad, por encima del 85% del valor de la capacidad de campo durante todo el ciclo del cultivo.

- La puesta en práctica del sistema de agricultura orgánica en las labores culturales de nutrición y sanidad vegetal en tomate protegido, es factible sin que se afecte significativamente la producción. Además de proporcionar frutos más sanos y de evitar la contaminación ambiental, el costo de producción es menor, ya que el precio de los productos químicos es elevado y dependen en general de su importación.
- La aplicación de hormonas, para obtener mayor número de frutos por planta se debe realizar después de las 4:00 p.m. y no en horas de la mañana para las condiciones de la provincia de Ciego de Ávila.
- El uso de fertilizantes orgánicos y la sustitución de pesticidas químicos por biopreparados es una garantía para la salud humana y la conservación del medio ambiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R. G.; L.S. PEREIRA; D. RAES; M. SMITH.: *Evapotranspiración del cultivo*, 298pp., Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos, FAO Estudios Riego y Drenaje 56, Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma, Italia, 2006.
- CAMEJO, B. L.E.: *Régimen de riego del plátano vianda para la provincia Ciego de Ávila*, Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas), La Habana, Cuba, 1983.
- CAMEJO, B. L.E.: *Manejo del riego en el tomate por fases de desarrollo*, Publicado en el documento "Manejo del riego en los principales cultivos de la zona central de la República de Cuba, Academia de Ciencias de Cuba, La Habana, Cuba, 2001.
- CAMEJO, B. L.E.; L.S. DUARTE; J.L. COMPANIONI; W. PÉREZ.: "Organización de la explotación en maquinas de pivote central eléctricas para el riego del cultivo de la papa", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18(4): 65-68, 2009.
- CASANOVA, M.; O. GÓMEZ: *Cultivo protegido*, 12pp. Informe Técnico IIIH, "Liliana Dimitrova", Ministerio de la Agricultura, La Habana, Cuba, 1997.
- CASTILLA, N.; E FERRERES: "The climate and water requirements of tomatoes in unheated plastics greenhouses", *Agr. Med.*, 120: 270–274, 1990.
- DE SANTA OLALLA; J MAÑAS; J. VALERO: *Agronomía del Riego*, Ediciones Mundi Prensa, Madrid, España, 1993.
- DOORENBOS, J.; W. PRUITT: *Las necesidades de agua de los cultivos*, FAO Estudios Riego y Drenaje, 24, Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma, Italia, 1977.
- HERNÁNDEZ, G.: *Zonificación de las necesidades de agua para el cultivo del tomate en Cuba*, Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas), La Habana, Cuba, 1988.
- IGARZA, A.: *Comportamiento del cultivo del tomate a la tensión de humedad de 15–20 kPa*, 66pp., Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de La Habana (ISCAH)-Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje (IIRD), La Habana, Cuba, 1999.
- KOLMANS, E.; D. VÁSQUEZ: *Manual de Agricultura Ecológica*, 2ª Ed. Grupo de Agricultura Orgánica, Asociación Cubana de Técnicos Agrícolas y Forestales, La Habana, Cuba, 1999.
- LEÓN, M.: *Estudio de la dosis y frecuencia de riego por goteo en las principales hortalizas*, 12pp., Informe de etapa P.R. Hortalizas, La Habana, Cuba, 1994.
- LEÓN, M; R. CUN: "Necesidades hídricas del tomate protegido en las condiciones de Cuba", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 10(3): 67–71, 2001.
- PACHECO, J.: *Riego y Drenaje*, Editorial Pueblo y Educación, La Habana, Cuba, 1995.
- PASCUAL, E B.: *El riego. Principios y prácticas*, 401pp., Segunda Edición, Universidad Politécnica de Valencia, España, 1993.
- TESSI, R.: *Principi di orticoltura e ortaggi*, D'Italia edagricole, Edicione Agricole 340, 1994.
- VILLARINO, L.; A. RÍOS: *Exigencias técnicas, agrotécnicas y de explotación para las labores mecanizadas en cultivos protegidos*, Instituto de Investigaciones de Mecanización Agropecuaria (IIMA), La Habana, Cuba, 2004.