

EFFECTO DEL RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO EN EL CULTIVO DE PIMIENTO (*Capsicum annuum* L.) UTILIZANDO LA TINA DE EVAPORACIÓN CLASE A, EN RÍO VERDE, SANTA ELENA, ECUADOR

*IRRIGATION SCHEDULING IN GROWING PEPPER (*Capsicum annuum* L.) USING CLASS A PAN EVAPORATION IN RIO VERDE, SANTA ELENA, ECUADOR*

<https://doi.org/10.5281/zenodo.3599163>

AUTORES: Ángel León Mejía^{1*}

Mercedes Arzube Mayorga²

Néstor Orrala Borbor³

Andrés Drouet Candell⁴

DIRECCIÓN PARA CORRESPONDENCIA: aleon@upse.edu.ec

Fecha de recepción: 03 / 10 / 2019

Fecha de aceptación: 29 / 11 / 2019

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de diferentes láminas de riego 40 %; 60 %; 80 %; 100 % y 120 % de la evapotranspiración del cultivo (ETc) utilizando la tina de evaporación clase A, aplicadas con un sistema de riego por goteo sobre el rendimiento agrícola del pimiento. Se utilizó el diseño bloques completos al azar con cinco tratamientos y cinco réplicas; las medias de los tratamientos fueron comparadas según Tukey ($\leq 5\%$). El rendimiento agrícola de los tratamientos 80 %, 100% y 120 % de la Evapotranspiración mostraron similitud estadística. En cuanto al riego deficitario sobresale el tratamiento 80% de la ETc 46166,2 kg.ha⁻¹; los tratamientos 40 % y 60 % alcanzaron rendimientos superiores a 39 toneladas por hectárea, con eficiencias de 49,83 y 35,59 kg.m⁻³

^{1*} Magister en Riego y Drenaje, Universidad Estatal Península de Santa Elena, aleon@upse.edu.ec

² Magister en Agroecología y Agricultura Sostenibles, Universidad Estatal Península de Santa Elena

³ Doctor en Ciencias Agrícolas, Universidad Estatal Península de Santa Elena

⁴ Magister en Agroecología y Agricultura Sostenibles, Universidad Estatal Península de Santa Elena

respectivamente. El análisis de regresión señala el rendimiento medio máximo expresado en la ecuación cuadrática para la lámina de ETc 107 %, el coeficiente de determinación es de 0,95. El análisis económico muestra al tratamiento 80% con tasa de retorno marginal superior a los demás variantes de riego en estudio.

Palabras clave: Evapotranspiración, riego deficitario, riego por goteo, salinidad.

ABSTRACT

The research aimed to evaluate the effect of different 40% irrigation sheets; 60%; 80%; 100% and 120% of crop evapotranspiration (ETc) using the evaporation tub class A, applied with a drip irrigation system on the pepper's agricultural yield. The randomized complete block design with five treatments and five replicas was used; The treatment means were compared according to Tukey ($\leq 5\%$). The agricultural yield of the 80%, 100% and 120% treatments of Evapotranspiration showed statistical similarity. Regarding deficit irrigation, 80% of ETc 46166.2 kgha⁻¹ treatment stands out; 40% and 60% treatments reached yields greater than 39 tons per hectare, with efficiencies of 49.83 and 35.59 kgm⁻³ respectively. The regression analysis indicates the maximum average yield expressed in the quadratic equation for the ETc sheet 107%, the coefficient of determination is 0.95. The economic analysis shows the treatment 80% with a marginal return rate higher than the other variants Irrigation under study

Keywords: Evapotranspiration, deficit irrigation, drip irrigation, salinity

INTRODUCCIÓN

La tecnología de riego ha logrado el desarrollo de los sectores agrícolas marginados especialmente zonas áridas con baja pluviometría (Surco 2009) incorporando tierras que aseguren el bienestar alimentario de la población (FAO 2002).

La aplicación de agua de riego es una necesidad para obtener rendimientos altos y estables en los cultivos, la programación del riego en función de reponer la humedad del suelo hasta capacidad de campo antes de llegar al agotamiento crítico establecido por el regante suele ser eficiente y no causa reducción en el rendimiento de los cultivos (Caicedo Camposano *et al.* 2015).

La provincia de Santa Elena en Ecuador se caracteriza por ser una zona semi-desértica, con gran potencial agrícola; su clima permite producir cultivos durante todo el año, pues se encuentra bajo la influencia del trasvase de las aguas de los ríos Daule-Peripa, que tiene capacidad para irrigar 42,084 ha aproximadamente (Ortiz 2008).

Los sistemas de riego utilizados por pequeños y medianos agricultores de la península de Santa Elena, no son diseñados e instalados por técnicos especializados en el área agrícola, no se considera el clima, suelo y planta. Por otra parte, una de las funciones de los sistemas de riego es la aplicación programada del agua a los cultivos para la producción de alimentos (Íñiguez *et al.* 2011).

Para determinar la demanda de agua de riego de los cultivos es necesario la evapotranspiración, la cual que se puede establecer por métodos directos como el gravimétrico, a través de lisímetros y evaporímetros relacionados con el suelo. Los métodos empíricos propuestos por Blaney y Criddly, usan datos de radiación solar; el modelo de cálculo de evapotranspiración potencial de Thornthwaite y otros, utilizan datos de temperatura y radiación; el de Penman Monteih modificado, amerita datos climáticos y radiación extraterrestre que se pueden obtener de tablas y monogramas (Santana & Peña 2010).

Sin embargo, uno de las formas más económicas para determinar la evaporación de manera directa es la tina de evaporación clase A, que es un recipiente que incorpora los efectos meteorológicos que intervienen en la evaporación (Allen *et al.* 2006), permitiendo realizar el control diario del requerimiento hídrico en los diferentes estados fenológicos de las plantas (Fernández 2001).

La programación técnica del riego, determina el volumen de agua y el momento oportuno a lo largo del ciclo del cultivo para lograr la máxima producción, es decir la eficiencia máxima del uso del agua por kilogramo de cosecha producida (Molina 2010).

En la provincia de Santa Elena, uno de los cultivos emblemáticos lo constituye el pimiento, pero a pesar de la importancia del cultivo para los pequeños y medianos productores, la información relacionada con el manejo y dosificación del agua de riego es muy escasa, por lo que es necesario realizar estudios sobre el manejo adecuado del agua de riego, relacionado con el clima de la zona.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se ejecutó de mayo a septiembre del 2013 en la Granja Experimental Río Verde, de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, ubicada en el municipio de Santa Elena, Ecuador en las coordenadas UTM, 533359 m, 9745028 m zona 17M DATUM WGS 84, a una altura de 25 msnm; suelo de textura arenosa, moderadamente profundo con buen drenaje, pH 6,8, materia orgánica 1,3 %, con una capacidad de intercambio catiónico de 19 meq/100 g, por lo que se puede deducir, una fertilidad natural baja; pertenece al subgrupo Fluventic haplocambids de los aridisoles (Instituto Espacial Ecuatoriano 2012).

Material genético utilizado, híbrido Quetzal, que es una planta alta, erecta de buen vigor, tolerante a *Fusarium*, fruto largo, inicio de cosecha 70 días, ciclo de cultivo alrededor de 100 días, con hábito de crecimiento semi-indeterminado; los frutos alcanzan 17 centímetros de largo por 5 cm de diámetro, con espesor de corteza de 4 mm, color verde intenso a rojo en estado de madurez, con producción promedio de 38 t ha⁻¹ (SEMINIS 2004).

La preparación del suelo se realizó mediante dos pases de rastras; cada parcela estuvo constituida por un camellón de 1.5 metros de ancho por 20 metros de largo; las semillas de pimiento se sembraron en bandejas de poliestireno de 128 hoyos en sustrato Novarbo para horticultura a base de turba Sphagnum; trasplante a los 35 días a una distancia de 0,30 metros entre planta a doble hilera; la fertilización consistió en N₁₅₀, P₈₀ y P₁₅₀ kg.ha⁻¹ y se utilizó nitrato de amonio (33,5% de N), monofosfato de amonio MAP (11 – 52 – 0) y nitrato de potasio (13 – 0 – 45). Antes del trasplante se realizó la fertilización básica aplicándose la dosis total de fósforo, el 50 % de la dosis de potasio y 30 % de la de nitrógeno; la fertilización se cobertura se realizó por fertirrigación a lo largo del ciclo del cultivo. El riego fue por goteo con una línea de riego por unidad experimental y goteros distanciados cada 0,3 m con caudal de 1,6 L h⁻¹.

Los tratamientos fueron cinco láminas de riego: 40, 60, 80, 100 y 120% de la evapotranspiración, dispuestos en bloques completos al azar con cinco réplicas. La medición de la evaporación se realizó de manera diaria en la tina de evaporación clase A y la reposición de la lámina de riego se efectuó considerando la media de las lecturas de dos

días consecutivos previos al riego y se determinó mediante la expresión mencionada por Rodríguez *et al.* (1999).

$$d = \frac{E_{tv} * K_t * K_c * K_l}{RL * CUD} T$$

d = Lámina de riego

E_{tv}= Tasa de evaporación medido en la tina clase A.

K_t= Coeficiente de tina

K_c= Coeficiente de cultivo según etapa fenológica

K_l= Coeficiente de localización del riego.

T= Tratamiento en porcentaje %

CUD= Coeficiente de uniformidad de distribución de caudales

RL= Requerimiento de lavado

El coeficiente de tina 0,78 se calculó utilizando datos climáticos (velocidad del viento, humedad relativa) de la Estación Meteorológica de la Universidad Estatal Península de Santa Elena. El K_c empírico único del cultivo en sus diferentes etapas fenológicas y ajustado a las condiciones locales se calculó según Manual 56 de la FAO (Allen *et al.* 2006) obteniendo K_c inicial 0,42, medio 1,04 y final 0,89.

La lámina de lavado (5 %) fue calculada mediante el software Watsuit y Chemiq, (USDA 2016) que incluye los riesgos de salinidad, sodicidad y también el efecto tóxico de la concentración de los elementos del agua de riego a 75 % de profundidad radical efectiva (Roades 1992). El tiempo de aplicación de agua se definió de acuerdo a las características del sistema de riego y el marco de plantación, para lo cual, se elaboró una hoja de cálculo en Excel para determinar la programación del riego a nivel diario y láminas variables según la demanda del cultivo en cada etapa fenológica. Se realizó el análisis de la varianza del rendimiento agrícola y las medias de los tratamientos comparadas según Tukey ($p \leq 0,05$), en el paquete estadístico INFOSTAT versión profesional para Windows. El análisis económico se realizó según metodología del presupuesto parcial (CIMMYT 1988).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1, se aprecia la influencia de las láminas de riego en la calidad del fruto; la longitud del fruto es inferior a los mostrados por la ficha técnica; en el diámetro del fruto y espesor de corteza no hubo variación significativa ($p > 0,05$) entre los tratamientos de 80 a 120% y coinciden con las características señaladas por SEMINIS (2004); en cuanto al peso sobresale el tratamiento 120 %, sin mostrar diferencia significativa con las láminas de riego aplicadas en función de porcentajes de la evapotranspiración del cultivo (80%, 100%).

Tabla 1. Variables de calidad de fruto

Tratamientos	Longitud del fruto (cm).	Diámetro del fruto (cm).	Espesor de corteza (mm)	Peso del fruto (g)
T1-40%	12,15b	5,72 c	4,43 b	128,16 b
T2-60%	12,82b	6,07 b	4,70 ab	133,62 b
T3-80%	13,02a	6,43 a	4,98 a	150,10 a
T4-100%	12,99a	6,47 a	4,96 a	150,52 a
T5-120%	12,97a	6,45 a	4,95 a	152,16 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

En el rendimiento agrícola del pimiento (Tabla 2), sobresalen los tratamientos de mayor consumo hídrico (80 %, 100 % y 120 % de la evapotranspiración) coincidiendo con lo reportado por Anthony y Shingandhupe (2004), citados por (Carvalho 2011). Sin embargo, se puede evidenciar un ligero descenso de la producción del tratamiento 120 %, al respecto Gonzalez *et al.* (2006) destacan que condiciones de alta humedad afectan el metabolismo y el cuajado de los frutos, disminuyendo el rendimiento a mayor cantidad de agua aplicada.

Desde el punto de vista del riego deficitario, los tratamientos 40 %, 60 % y 80 % de la evapotranspiración, superan al rendimiento promedio del material genético en estudio (SEMINIS 2004). Esta respuesta probablemente se deba a que el riego deficitario es una buena estrategia de riego que permite aplicar menor volumen de agua en periodos cortos sin afectar el potencial productivo del cultivo (Padrón *et al.* 2014). A medida que disminuye el porcentaje de evapotranspiración, las plantas generan tolerancia a estrés hídrico y esto varía de una especie a otra (Cheruth Abdul *et al.* 2009); generalmente aumenta la resistencia a la difusión del vapor de agua fuera de las hojas afectando el intercambio gaseoso y

fotosíntesis (Jieto & Talón 2013), disminuye el tamaño de la planta, el número de hojas y el número de ramas, ocasionando pérdida en el rendimiento (Rojas 2016).

Tabla 2. Rendimiento en función de las láminas de riego y eficiencia del uso del agua

Tratamientos	Rendimiento kg ha ⁻¹	Volumen de agua aplicada m ³ ha ⁻¹	Eficiencia kg m ⁻³
T1-40%	39072.9 b	1037	37,69
T2-60%	41864.9 ab	1555	26,92
T3-80%	46166.2 a	2073	22,27
T4-100%	46626.2 a	2592	17,99
T5-120%	46243.5 a	3110	14,87

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

La mayor eficiencia en función del rendimiento corresponde al T1 40% (37.69 kg m⁻³) con el menor volumen de agua 1037 m³ ha⁻¹, situación similar a la encontrada por Deaquiz *et al.* (2014) que obtuvo la mayor eficiencia con la menor variante de riego en cultivo de fresa y con otros reportes de otras latitudes (Zotarelli 2009). La eficiencia productiva del agua de riego (26.2 kg.m⁻³) reportada para pimiento González *et al.* (2014) concuerda con lo encontrado en la presente investigación.

El análisis de regresión (Figura 1) señala el rendimiento máximo expresado en la ecuación cuadrática para la lámina de ETc 107%, con 46,722 kgha⁻¹ para un consumo de agua de 2,773 m³ ha⁻¹, obteniendo una eficiencia de 16,81 kg m⁻³. El coeficiente de determinación 0,96 muestra la alta dependencia de la producción en función de las láminas de riego.

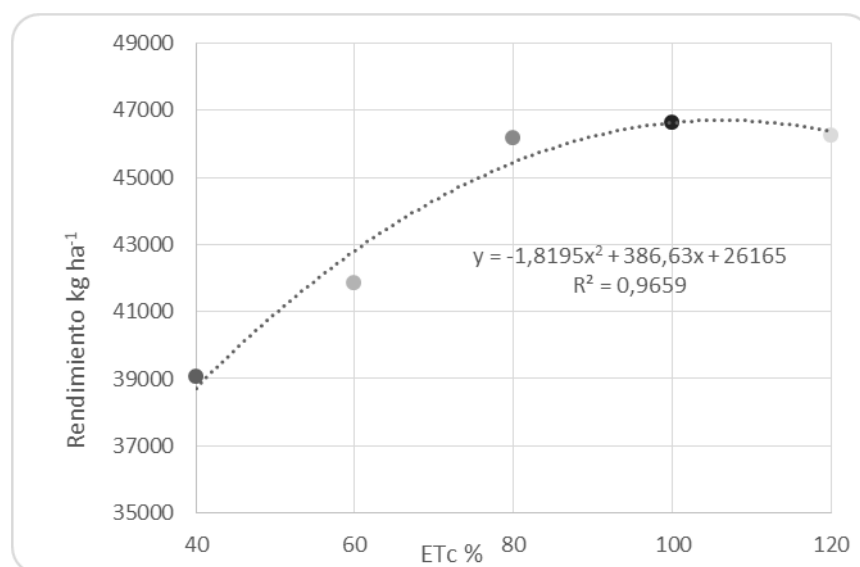


Figura 1. Análisis de regresión de Evapotranspiración - rendimiento.

El análisis económico (Tabla 3) de acuerdo al presupuesto parcial, determinó los costos que varían y los beneficios netos de cada uno de los tratamientos; se descartó el tratamiento con el 120 % de la tasa de evapotranspiración que resultó dominado. De acuerdo con la Tasa de Retorno Mínima Aceptable (100 %) se concluye que la tasa del 80 % de evapotranspiración tiene la Tasa de Retorno Marginal más alta.

Tabla 3. Análisis marginal de los tratamientos (dólares).

Tratamiento	Costos que varían	Costos marginales	Beneficio neto	Beneficios netos marginales	Tasa de retorno marginal %	Tasa de retorno mínima aceptable (%)
T1 40%	23,53	23,53	7009,60			
T2 60%	35,29	11,76	7500,40	490,79	4172,5	100%
T3 80%	47,05	11,76	8262,87	762,47	6482,2	100%
T4 100%	58,81	11,76	8333,90	71,04	603,9	100%

CONCLUSIONES

Los resultados de las variables agronómicas del cultivo mostraron que no hubo diferencias significativas en el rendimiento agrícola en los tratamientos con 80, 100 y 120 % de la tasa de evapotranspiración. Por otra parte, el análisis económico de la producción establece al tratamiento del 80 % de la ETc con la mejor Tasa de Retorno Marginal, por lo que se considera como alternativa al manejo racional del agua de riego en la zona donde se realizó el estudio.

RECOMENDACIONES

Realizar investigaciones en otras latitudes de la costa ecuatoriana, aplicando el 80 % de la ETc para la irrigación de cultivos de pimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, Richard., Pereira, Luis., Raes, Dirk., & Smith, Martín. (2006). Evapotranspiración de cultivo. Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje 56. Roma: FAO.
- Caicedo Camposano, O., Balmaseda Espinosa, C., & Proaño Saraguro, J. (2015). Programación del riego del banano (*Musa paradisiaca*) en finca San José 2, Los Ríos, Ecuador. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(2), 18-22.
- Carvalho, J., Rezende, F., Aquino, R., Freitas, W. & Oliveira, Eduardo C. (2011). Análise produtiva e econômica do pimentão-vermelho irrigado com diferentes lâminas, cultivado em ambiente protegido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15(6), http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662011000600005&lng=en&tlng=pt. 10.1590/S1415-43662011000600005. (último acceso: 19 de octubre de 2013).
- CIMMYT. (1988). La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica. México. DF.
- Deaquiz, Y., Álvarez, J. & Pinzón, L. (2014). Efecto de diferentes láminas de riego sobre la producción y calidad de fresa (*Fragaria sp.*). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 8(2), 192-205.

- FAO. (2002). Agua y Cultivos. Logrando el uso óptimo del agua en la agricultura. ROMA: FAO.
- Fernández, M. D. Orgaz, F. Fereres, E. López J. C. Céspedes, A. Pérez, J. Bonachela, S. & Gallardo, M. (2001). Programación del riego de cultivos hortícolas bajo invernadero en el sudeste español. Almería: Escobar Impresores, S.L. - El Ejido (Almería).
- González, Robaina Felicita, Puebla, Julián Herrera, Seija, Teresa López, & Lazo, Greco Cid. (2014). Productividad del agua en algunos cultivos agrícolas en Cuba. Revista de Ciencias Técnicas Agropecuaria 23(4), 21-27.
- Instituto Espacial Ecuatoriano. (2012). Generación de Geoinformación para la Gestión del Territorio a Nivel Nacional a Escala 1:25000. http://181.211.99.244/geodescargas/santa_elena/mt_santa_elena_geopedologia.pdf
- Íñiguez, Mauro., Ojeda, W. & Rojano Aguilar, Abraham. (2011). Metodología para la determinación de la evapotranspiración integrada y la capacidad de canales en una zona de riego.» Revista de la facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Cuyo 43(2), 175-191.
- Cheruth Abdul J., Paramasivam M., Abdul W., Muhammad F., Hameed Jasim, A., Ramamurthy S., & Rajaram P. (2009). Drought Stress in Plants: A Review on Morphological Characteristics and Pigments Composition. Int. J. Agric. Biol, 11(1), 100-105.
- Jieto, A. & Talón, M. (2013). Fundamentos de fisiología vegetal (2da).
- Molina, J. (2010). Automatización y Telecontrol de sistemas de riego. Barcelona: Ediciones Técnicas Marcombo.
- Ortiz, F. (2008). Potencialidades de la península de Santa Elena. 2008. www.agrogestion.ec/potencialidades_peninsula.pdf (último acceso: 23 de noviembre de 2014).
- Roades, J., Kandiah, A. (1992.) Uso de aguas salinas para la producción agrícola. Riego y Drenaje Paper 48. FAO.

- Rodríguez, J., Abréu, J. Hernández, M., Pérez, A. & J. F. González Hernández. (1999). Riego Localizado. 2da. Mafrid: Mundi rensa
- Padrón, R. A. R., Ramírez, L. R., Swarowsky, A., & Daboín, J. R. (2014). Efecto del riego deficitario y diferentes frecuencias en la producción del cultivo de pimentón. *Interciencia*, 39(8), 591-596.
- Rojas, M. (2016). Resistencia a la sequía. Diciembre de 2016. <http://site.ebrary.com/lib/upsesp/detail.action?docID=10115081> (último acceso: 1 de Diciembre de 2018).
- Santana, L., & Peña, E. (2010). Obtención de modelos para la determinación de la evapotranspiración de referencia en condiciones de clima subhúmedo seco en las Tunas, Cuba. *IDESIA (Arica)*, 28(1), 55-59. SEMINIS.
- Vegetable Seed. (2004). Disponible en: <http://seminis-andina.com/productos/quetzal/362>
- Surco, M. (2009). Evaluación del comportamiento agronómico del cultivo de haba (Vicia faba) bajo cinco diferentes láminas de riego. <http://bibliotecadigital.umsa.bo:8080/rddu/bitstream/123456789/4851/1/T-1288.pdf>
- USDA, Servicio de Investigación Agrícolas. USDA. 2 de 9 de 2016. <https://www.ars.usda.gov/pacific-west-area/riverside-ca/us-salinity-laboratory/docs/watsuit-model/> (último acceso: 24 de noviembre de 2016).
- Zotarelli, L., Scholberg, J. M., Dukes, M. D., Muñoz-Carpena, R., & Icerman, J. (2009). Tomato yield, biomass accumulation, root distribution and irrigation water use efficiency on a sandy soil, as affected by nitrogen rate and irrigation scheduling. *Agricultural water management*, 96(1), 23-34.