



Efectos de regímenes de riego sobre el rendimiento y el uso del agua en Berenjena (*Solanum melongena L.*), en condiciones de campo

Effects of Irrigation Regimes on the Yield and Water Use of Eggplant (*Solanum melongena L.*) under field conditions

José Alexander Gil Marín, Nelson José Montaña-Mata y Gerobohan José Pérez Córcega

RESUMEN:

El presente trabajo se realizó en el sector San Vicente, Municipio Maturín Estado Monagas, Venezuela, entre los meses de junio-septiembre del 2015, con el objetivo de determinar el efecto de cuatro láminas de riego sobre el rendimiento, producción, la calidad de los frutos y eficiencia en el uso del agua en el cultivar Long purple de berenjena (*Solanum melongena L.*). Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con tres repeticiones, con arreglo de parcelas divididas, donde la parcela principal fueron las diferentes láminas de riego. La parcela principal tuvo dimensiones de 10 m. de largo por 3 m. de ancho, en la misma se instalaron 4 líneas regantes separadas a 1,0 m. Se aplicaron cuatro criterios de riego consistentes en reponer el equivalente al 60%,80%,100% y 120% de la evapotranspiración del cultivo (ETc). Los parámetros medidos fueron los componentes productivos y rendimiento planta (ton/ha). Un tanque evaporímetro tipo "A" se utilizó para estimar la evapotranspiración de la berenjena. El tratamiento 120 % ETc permitió el máximo rendimiento y calidad (en términos de frutos/planta, longitud, diámetro y peso de la fruta), y la mayor EUA. El máximo rendimiento obtenido fue de 96,92 ton/ha. Todas las funciones de producción del rendimiento y de los parámetros de calidad del fruto obedecen a una ecuación matemática del tipo lineal con un alto valor de coeficiente de determinación R^2 por encima del 90%. El factor de respuesta del rendimiento del cultivo de la berenjena (2,08); mayor de 1,00 indica que la berenjena es muy susceptible al déficit de agua.

PALABRAS CLAVE:

Eficiencia del uso del agua, rendimiento, riego por goteo, calidad del fruto.

ABSTRACT:

This work was carried out in the San Vicente sector, Maturin Municipality, Monagas State, Venezuela between the months of June-September 2015, with the objective of determining the effect of four irrigation depths on the yield, production, quality of the fruits and efficiency in the use of water in the cultivar Long purple of eggplant (*Solanum melongena L.*). An experimental design of random blocks with three repetitions was used, with an arrangement of divided plots, where the main plot was the different irrigation depths. The main plot had dimensions of 10 m long by 3 m wide, in the same four irrigation lines separated by 1.0 m were installed. Four irrigation criteria were applied, consisting of replacing the equivalent of 60%, 80%, 100% and 120% of the crop evapotranspiration (ETc). The parameters measured were the productive components and plant yield (ton / ha). A type "A" evaporimeter tank was used to estimate the evapotranspiration of the eggplant. The 120% ETc treatment allowed the maximum yield and quality (in terms of fruits / plant, length, diameter, and weight of the fruit), and the highest WUE. The maximum yield obtained was 96, 92 ton / ha. All the production functions of the yield and the quality parameters of the fruit perform a mathematical equation of the linear type with a high value of the coefficient of determination R^2 above 90%. The response factor of the eggplant crop yield (2,08); greater than 1,00 indicates that the eggplant is very susceptible to water deficit.

KEYWORDS:

Water use efficiency, yield, drip irrigation, fruit quality.

AUTORES:

José Alexander Gil Marín: Departamento de Ingeniería Agrícola, Núcleo Monagas, Universidad de Oriente (UDO). Avenida Universidad Campus Los Guaritos, Maturín, 6201, estado Monagas, Venezuela.

Nelson José Montaña-Mata: Departamento de Ingeniería Agrícola, Núcleo Monagas, Universidad de Oriente (UDO). Avenida Universidad Campus Los Guaritos, Maturín, 6201, estado Monagas, Venezuela. Departamento de Agronomía, UDO, Maturín. jalexgil2005@hotmail.com

Gerobohan José Pérez Córcega: Departamento de Ingeniería Agrícola, Núcleo Monagas, Universidad de Oriente (UDO). Avenida Universidad Campus Los Guaritos, Maturín, 6201, estado Monagas, Venezuela.

Presentado: 25/08/2020. **Aprobado:** 15/10/2020.

INTRODUCCIÓN

La berenjena (*Solanum melongena L.*) es una hortaliza muy importante en muchas áreas tropicales y subtropicales del mundo. De acuerdo con datos estadísticos de la FAO, la berenjena ocupa el sexto lugar, después de los tomates, las sandías, las cebollas, pepinos y coles, en la

producción mundial total, con 52,3 millones toneladas producidas en 2017. (FAO, 2019)

Además, la berenjena es considerado uno de los 35 cultivos alimentarios más importantes para la seguridad alimentaria mundial y, como tal, está incluido en el Anexo 1 del Tratado Internacional sobre Recursos fitogenéticos para

la alimentación y la agricultura. (Fowler *et al.*, 2003)

Muchas de las zonas donde se cultiva berenjena ya están sufriendo modificaciones dramáticas en el entorno agrícola actual, que se agravará en el futuro, debido al cambio climático en curso. (Anwar *et al.*, 2013)

El cambio climático global y la creciente competencia por el agua dulce pueden tener graves impactos en los recursos hídricos y en el sector agrícola. El acceso al agua de riego es clave para reducir los impactos de la variabilidad y el cambio climático en la seguridad alimentaria. El riego es una práctica cada vez más importante para la agricultura sostenible en las regiones áridas y semiáridas. (Fernández García *et al.*2020)

Para resolver el problema de la escasez de agua en la agricultura, es necesario desarrollar tecnologías de gestión de ahorro de agua. Una de las principales razones de la baja cobertura de riego es el uso predominante del método de riego por inundación (convencional), donde la eficiencia del agua es muy baja debido a varias razones. En los últimos años, sin embargo, la creciente competencia por los escasos recursos hídricos ha llevado a aplicar técnicas modificadas para maximizar la eficiencia del agua y mejorar el rendimiento y la calidad de los cultivos. El método de riego por goteo es muy eficiente para suministrar agua de riego de forma precisa porque solo humedece la zona de la raíz inmediata de cada planta y, por lo tanto, se adapta en gran escala a muchos cultivos hortícolas. En este método, el agua se suministra a un ritmo más lento durante un período de tiempo más largo, en intervalos regulares, a través de un sistema de baja presión para satisfacer la demanda de evapotranspiración del agua. Además, el sistema de riego por goteo aplica agua lentamente para mantener la humedad del suelo dentro del rango deseado durante el crecimiento de las plantas (Ranjan *et al.* 2018). Este proceso permite un mejor control y distribución del agua a través del

perfil del suelo, por lo tanto, se reducen las pérdidas por evaporación y percolación profunda y los cultivos pueden utilizar casi toda el agua entregada. El riego por goteo tanto superficial como subterráneo constituyen las formas más eficaces de transportar directamente agua y nutrientes a las plantas, ahorrar agua y también aumenta el rendimiento de los cultivos de hortalizas. (Mohamed *et al.* .2020)

Los sistemas de riego por goteo tienen una mayor eficiencia en uso del agua en comparación con los sistemas de riego de superficie (Taylor y Zilberman, 2017). Esto se debe principalmente al mayor volumen de agua aplicada en el sistema de riego de superficie en comparación con los sistemas de riego por goteo. Las ventajas más importantes en comparación con otros sistemas de riego son las siguientes: mayor rendimiento de los cultivos, ahorro de agua y energía, mayor eficiencia en el uso de agua y fertilizantes, tolerancia a las condiciones atmosféricas de mucho viento, menor costo de mano de obra, protección contra ~~las~~ **las** enfermedades y mejor control de plagas, se utiliza en suelos desnivelados, se adapta a diferentes tipos de suelos y mejora sus condiciones de salinidad (Mohamed *et al.* .2020).

Una necesidad para el riego eficiente, con mínima percolación, pérdidas por escorrentía y contaminación ambiental, es el conocimiento del uso de consuntivo de los cultivos o su evapotranspiración (ET). Sin embargo, se han utilizado y evaluado varios métodos para calcular la ET para los cultivos al aire libre, mientras que la precisión de dichos métodos en invernaderos no es tan evidente (Asghar- Ghaemi y Rafie-Rafiee, 2016). La escasez de agua del suelo y la salinidad reducen la energía potencial del agua y limitan las fuerzas capilares y absorbentes de la matriz del suelo. Esto puede resultar en un crecimiento deficiente de la planta, reducción de la absorción de agua y, en consecuencia, importantes limitaciones del rendimiento y de ET. La disminución de los recursos hídricos disponibles causa problemas críticos de escasez

de agua. En consecuencia, ganan importancia los estudios para hacer estimaciones precisas del consumo de agua del cultivo (Amiri *et al.*, 2012; Bozkurt-Colak, 2019; Opoku *et al.*, 2019).

Sin embargo, aún se necesitan más estudios para el riego deficitario de hortalizas (Bozkurt Çolak *et al.* 2018; Asghar- Ghaemi, y Rafie- Rafiee, 2016; Mohawesh, 2016). Aunque hay muchas investigaciones sobre las influencias de las limitaciones regulada del agua en los parámetros de rendimiento y calidad, relativamente hay pocos trabajos relacionados con el riego de berenjenas en nuestras condiciones locales del oriente del país y Maturín.

El objetivo de esta investigación fue determinar las influencias de diferentes niveles de riego sobre el rendimiento, calidad del fruto,

producción y eficiencia en el uso del agua (EUA) de berenjena.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en el sector de San Vicente, municipio Maturín, estado Monagas, Venezuela; entre los meses de marzo y septiembre de 2015. Su ubicación geográfica está comprendida entre los 9°44'37" de latitud Norte y los 63°15'59" de longitud Oeste, a una altitud de 51 m.s.n.m (Figura 1). El clima de la zona según Holdridge citado por Montaña *et al.* (2018), es del tipo Bosque Seco Tropical, caracterizado por presentar una estación lluviosa de mayo a diciembre y una estación seca de enero a abril, con una precipitación media anual de 1.219,6 mm, una temperatura media anual de 25,9 °C, con una evapotranspiración potencial de 1.372 mm y una evaporación de 1.573 mm al año.



Figura 1. Ubicación geográfica de la Ciudad de Maturín. Estado Monagas. Venezuela. Fuente: Gil, *et al.* (2012).

El suelo predominante es de textura franco-arenosa y se clasifican taxonómicamente como ultisol (paleustults), que se caracteriza por

ser muy lixiviado, con pH de 4,7; baja capacidad de intercambio catiónico y bajo porcentaje de materia orgánica. (Gil *et al.* 2014)

Tabla 1. Algunas propiedades físicas y químicas del suelo donde se desarrolló el trabajo.

Características	Valor	Método
Textura	Fa	Bouyoucos
pH	4,70	Potenciómetro
Materia Orgánica (%)	3,37	Walkley y Blank
CE (micro S/m)	192,40	Conductímetro

Análisis realizado en el laboratorio de suelos de la Universidad de Oriente, Núcleo Monagas, *Campus los Guaritos*. (Gil *et al.* 2014).

Se utilizó el cultivar de berenjena Long purple a un espaciamiento de 0.3 m. El experimento se presentó en un diseño de parcela dividida con tres repeticiones (Figura 2) y ocho tratamientos producto de cuatro niveles del factor riego como parcela principal (60, 80, 100 y 120% ETc) y dos niveles de la edad de trasplante como subparcela (30 y 40 días). La programación del riego se realizó en días alternos sobre la base de la evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo) y los coeficientes del cultivo (Kc).

La evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo) se estimó utilizando el Método de la Tina de Evaporación Tipo A de la FAO. La lectura diaria de evaporación registrada en la tina clase A se convirtió a ET de referencia (ETo) al multiplicar por el coeficiente de la tina (Kp) de (0.75); valor obtenido después de considerar la humedad relativa y la velocidad del viento predominante de la zona. Por último, la ET del cultivo (ETc) se obtuvo multiplicando ETo por el coeficiente del cultivo (Kc): $ETc = ETo \times Kc$, como lo recomienda Allen *et al.*, (1998). Los valores de Kc locales estimados para riego por goteo y berenjena en este estudio fueron 0.3; 0.85; 1.10 y 0.95 para las diferentes etapas del cultivo. Cada etapa duró aproximadamente 30 días. Las parcelas estuvieron constituidas por cuatro laterales de 10 m de longitud, separadas a 1 m entre ellos, con goteros de riego cada 0,33 m, considerándose para efectos de evaluación solo las dos hileras centrales. Se instaló un sistema de riego por goteo con goteros integrados tipo Flat dripper line marca Aquadrop, con un espesor de pared de 0,3 mm y un caudal de 1,0 L/h. El área total del experimento fue de 448 m², teniendo las parcelas principales un área de 30 m² y las

subparcelas de 5 m². La preparación del terreno se realizó con tres pases de rastra, con el objetivo de eliminar las malezas presentes y dar al suelo una soltura que permitiera el desarrollo del sistema radical del cultivo y se surcó el terreno, con separación de 1,00 m.

Las plántulas fueron obtenidas en bandejas de germinación de 162 alvéolos, y el sustrato utilizado fue una mezcla de turba y sustrato de corteza de pino (PROFORCA), en una proporción de 3:1, realizándose la siembra de la segunda edad (40 días después de la germinación, *ddg* y 53 días después de la siembra, *dds*), el día 07 de junio de 2015 y la primera edad (30 días después de la germinación, *ddg* y 43 días después de la siembra, *dds*) el 17 de junio de 2015. La cantidad de semillas utilizada fue de 2 semillas por alvéolo para un total de 324 semillas por bandeja y 2916 por todo el ensayo. La germinación se inició a los 13 días luego de la siembra. La frecuencia de riego de las plántulas fue de dos veces al día, aplicándose una en la mañana y la otra en la tarde. El control de malezas, cuando la incidencia de estas lo requirió, se efectuó de forma manual o con herbicida. Asimismo, se realizó apropiado control fitosanitario del ensayo.

La fertilización se realizó a través del sistema de riego usando diariamente fertilizantes solubles de fórmula 27,5-49-0 durante los primeros 30 días y la fórmula 28-14-30 durante el resto de la etapa del cultivo. La cantidad de fertilizante aplicado estuvo en el rango de 200-500 g.dia⁻¹. Se hicieron los ajustes necesarios en el sistema con el fin de mantener iguales las dosis aplicadas por planta, independientemente de los

diferentes volúmenes de empleados en cada tratamiento de riego.

En nuestro estudio, las relaciones entre rendimiento y ET se determinaron por el modelo de Stewart. (Doorenbos y Kassam, 1979)

$$(1 - Y_a / Y_m) = k \text{ y } (1 - E_{T_a} / E_{T_m}) \quad (1)$$

Donde Y_m y Y_a , son los rendimientos máximo y real, E_{T_x} y E_{T_a} , son la evapotranspiración máxima y real, y K_y , es el factor de respuesta del rendimiento que representa el efecto de una disminución de la evapotranspiración sobre las pérdidas de rendimiento.

La ecuación 1 es una función de productividad del agua y puede ser aplicada a todos los cultivos agrícolas; es decir, herbáceos, arbóreos y vides. Mientras que la eficiencia del uso del agua de riego (EUA) se estimó con la ecuación (Howell *et al.*, 1990):

$$EUA \text{ (kg m}^{-3}\text{)} = Y_i / E_{T_a} \quad (2)$$

Donde Y_i es el valor de rendimiento de cada parcela de tratamiento (kg ha^{-1}).

Las berenjenas de cada parcela unitaria fueron cosechadas y a los frutos se le determinó las variables longitud del fruto (cm), diámetro del fruto (cm), número de frutos y peso de frutos frescos.

Los análisis estadísticos fueron realizados utilizando el Proc GLM (modelos lineales generales) procedimiento de SAS (SAS Institute, Inc., Cary, N. C.) en un nivel de significancia de $p \leq 0,05$. El análisis de varianza (ANOVA) se realizó para determinar las diferencias entre tratamientos para cada parámetro como aplicable al diseño completo de bloques al azar dispuestos en procedimiento de parcelas divididas. Las medias de tratamiento se compararon con el Procedimiento de Tukey a 0,05 nivel de probabilidad.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Estos estudios se realizaron para determinar si las respuestas del rendimiento y sus componentes a los regímenes con riego completo y varios déficits pueden utilizarse en la planificación del riego. Los resultados indican que los niveles de riego fueron significativos sobre todas estas variables.

Rendimiento (t ha^{-1})

El efecto de los niveles de agua de riego en el rendimiento de los frutos, monitoreado durante la temporada para cada tratamiento se presenta en Figura 2. Los rendimientos fueron afectados de forma altamente significativa ($p \leq 0,001$), por los niveles de riego. La prueba de rango estudentizado de Tukey al 5% de probabilidad, reflejó que la dosis de riego que arrojó el mayor rendimiento fue la lámina 120% E_{T_c} con una media de 96,92 t/ha, y el de menor rendimiento lo obtuvo el tratamiento 60% E_{T_c} con 37,94 t ha^{-1} .

El cambio de la dosis de riego de 120% a 60% E_{T_c} , disminuyó en un 60,85% el rendimiento de frutos, lo que evidencia el efecto negativo del estrés hídrico en este cultivo. Esto posiblemente se debe al hecho de que el agua aplicada al 120% E_{T_c} cumple de manera adecuada con los requerimientos hídricos del cultivo para la zona de estudio. Estos resultados concuerdan con los encontrados por Kirnak *et al.* (2002) y Chaves *et al.* (2003) quienes demostraron que el estrés hídrico produjo una disminución significativa en el rendimiento de la berenjena y en los componentes del rendimiento.

Díaz-Pérez y Eaton (2015), señalan que la berenjena puede tolerar un estrés hídrico leve, ya que en su trabajo observaron que las plantas regadas con un 67% de E_{T_c} manifestaron rendimientos similares a los de las plantas irrigadas al 100% de E_{T_c} o con tasas más altas. Por lo tanto, existe la posibilidad de ahorrar agua al reducir las tasas de riego actuales sin afectar negativamente el rendimiento de la fruta. Los

períodos de crecimiento más sensibles de la berenjena al estrés hídrico son durante la floración y la formación de frutos. Por lo tanto, la ocurrencia de cualquier estrés hídrico en estas etapas de crecimiento podría conducir al desarrollo de pudrición del extremo de la flor y frutos malformados.

Kemble *et al.* (1998) indican que el tamaño y rendimiento de la fruta, así como el rendimiento de materia seca (Sarker *et al.*, 2005), disminuyen por el estrés hídrico. Aujla *et al.* (2007) obtuvieron rendimientos en berenjena que variaron entre 43,10 y 103,10 t ha⁻¹ en India; Kuşcu *et al.* (2009) informaron un rendimiento máximo de berenjena comercializable de 46,40 t ha⁻¹ cuando los riegos se programaron en un 80% de reposición de la evaporación de la bandeja de Clase A en Turquía. Karam *et al.* (2011) reportaron rendimientos de berenjena fresca que variaron de 13,40 a 33,80 t ha⁻¹ para riegos completos y deficitarios en condiciones del Líbano.

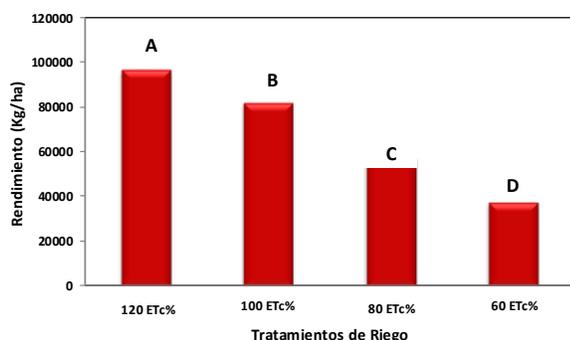


Figura 2. Efectos de los diferentes riegos o estrategias de riego sobre el rendimiento del fruto del cultivar Long Purple de Berenjena. Prueba de Tukey al 5% de probabilidad.

La razón del mayor rendimiento con los tratamientos de riegos de 120 y 100 % ETc, está en que las plantas pueden absorber agua más fácilmente sin experimentar ningún efecto de estrés en comparación con los tratamientos de menor cantidad de agua.

Los resultados indicaron que se puede recomendar el tratamiento con riego completo

120% ETc con frecuencia de riego de 2 días. La respuesta fisiológica de la berenjena a diferentes niveles de estrés hídrico se puede utilizar para la optimización y sostenibilidad de la producción de cultivos en áreas donde las fuentes de agua son limitadas o caras.

Passioura y Angus (2010) indican que las disminuciones en el crecimiento de las plantas en zonas de agricultura semiárida podrían ser el resultado de reducciones en la transferencia de asimilados de las hojas a los frutos debido a las condiciones de suministro de agua cada vez más desfavorables.

Esta observación es aparentemente pertinente a la berenjena producida en condiciones de estrés hídrico. Por otra parte, Mohawesh (2016) encontró que el déficit de agua resultó en una reducción en el crecimiento de la berenjena que a su vez redujo su índice de área foliar. La razón principal de la disminución del crecimiento vegetativo de los cultivos de hortalizas bajo estrés hídrico podría ser la aceleración de la senescencia de las hojas, como señalaron Kirnak *et al.* (2002) sobre berenjena y Karam *et al.* (2009) sobre plantas de pimiento morrón. Passioura y Angus (2010) demostraron que, bajo estrés hídrico, los ciclos de vida de las plantas anuales se acortan y la senescencia de las hojas se acelera debido a la reducción de la absorción de agua por las raíces.

Los mayores rendimientos obtenidos en este experimento resultan superiores a los reportados por Bozkurt Çolak (2019) quien, en un trabajo con riego por goteo superficial, con el tratamiento de 100% de ETc y el cultivo de berenjena (cv. Anamur karasi); obtuvo un rendimiento de 92,21 t ha⁻¹. También superan a los obtenidos por Montaña *et al.* (2009), quienes, trabajando con 3 variedades de berenjena con diferentes combinaciones de fertilizante orgánico y químico, obtuvieron rendimientos de 49.900 kg ha⁻¹. La diferencia aumenta más cuando lo comparamos con el promedio nacional reportado por FUNEAGRO, (2014) de 11.469 kg ha⁻¹.

Agua aplicada y agua utilizada

Eficiencia del Uso del Agua de Rendimiento

La tabla 2, muestra la programación de riego real llevada a cabo durante el ensayo, expresada como porcentaje de satisfacción de la evapotranspiración de cultivo (ETc). También se presenta láminas totales de riego y precipitación efectiva aplicados en los diferentes tratamientos, así como los rendimientos y las Eficiencias del uso del agua (EUA) obtenidas. Se realizó un análisis de varianza del rendimiento y de la EUA para estudiar las diferencias producidas en los mismos, como consecuencias de los distintos tratamientos hídricos aplicados durante el

ensayo. Tanto en las producciones como en los valores de EUA de rendimiento presentaron diferencias altamente significativas ($p < 1\%$). Las EUA han oscilado entre 28,02 kg m⁻³ para el tratamiento más abundante T1 120% ETc y 15,41 kg m⁻³ para el tratamiento más restrictivo T4 60% ETc. Los tratamientos T2 y T3 ocuparon ese mismo orden en la EUA de este cultivo. La mayor eficiencia del uso del agua correspondió al tratamiento T1 con 28,02 kg m⁻³, el cual se comportó estadísticamente similar a T2 con 26,3 kg m⁻³. No hubo diferencia significativa entre los tratamientos T3 80% ETc y T4 60% ETc, siendo ambos inferiores a T2 100% ETc. Los resultados señalan que la EUA aumentó con el incremento de las cantidades de agua de riego.

Tabla 2. Tratamientos hídricos y láminas aplicadas a los diferentes tratamientos de riego y sus efectos sobre el rendimiento y eficiente uso del agua.

Tratamiento	Nivel de Etc (%)	Precipitación Efectiva (mm)	Riego de Asiento (mm)	Riego Efectivo (mm)	Agua Total (mm)	Rendimiento Kg/ha	EUA Kg/m ³
T1	120	129,9	16,78	199,2	345,88	96916,00	28,02 a
T2	100	129,9	16,78	166	312,68	82235,00	26,3 ab
T3	80	129,9	16,78	132,8	279,28	56901,00	20,37 bc
T4	60	129,9	16,78	99,6	246,28	37940,00	15,41 c

Algunos trabajos sugieren que un valor alto de EUA debería estar asociado con rendimientos altos (o aceptables), particularmente en áreas con escasez de agua. Karam *et al.* (2011) reportaron una EUA máximo de 5.6 kg m⁻³ en las parcelas irrigadas con déficit en el Líbano, mientras que Lovelli *et al.* (2007) observaron el mayor valor de EUA de 10,3 kg m⁻³ en riego completo en Italia.

Otros investigadores señalan un aumento de EUA en los tratamientos de riego deficitario para pimiento rojo (Sezen *et al.*, 2014), berenjena (Kırnak *et al.*, 2002). La razón de una mayor EUA en cultivos bajo estrés hídrico se debe a que las plantas estresadas se marchitan mucho más que las plantas no estresadas y la marchitez ocurre invariablemente en momentos en que el déficit de presión de vapor de la atmósfera es grande (Bloch *et al.*, 2006).

En un trabajo más reciente realizado por Ayas (2017) en condiciones invernadero también reporta máximos valores de EUA con los máximos tratamiento de aplicación de riego (100% ETc), con un valor obtenido de 13,14 Kg m⁻³, valor por debajo del observado en este trabajo. Mientras Badr *et al.* (2020) también señala que valores altos de EUA bajo riego completo con una tendencia decreciente por tratamientos de riego deficitario. Sin embargo, la variación entre EUA en los diferentes tratamientos de riego no fue significativa excepto para el tratamiento 40% ETc, en el cual el estrés hídrico deprimió severamente el rendimiento de frutos en aproximadamente un 70% en comparación con el riego completo. En las condiciones locales, Gil *et al.* (2012) en el cultivo de ají, reportan rangos de EUA de rendimiento entre 8,25 a 24,24 Kg/mm, y la máxima EUA la alcanzó con el 80% Etc.

Mientras que, en el cultivo de melón, Gil *et al* (2014), observaron valores de EUA entre 57,20 y 64,860 Kg/mm, y la máxima EUA también se alcanzó con el 80% de la ETc. Estos resultados nos indican que el cultivo de berenjena tiene una EUA de rendimiento mayor que los cultivos de ají y melón, ya que cada milímetro de agua aplicado fue capaz de producir como mínimo 150 kg de fruta fresca de este cultivo.

Los estudios encontrados sobre la utilización de la EUA para comparar diferentes especies cultivables, o para indicar la eficiencia fotosintética de distintos esquemas de cultivos a través de la EUA, y la opción de elegir métodos de riego en función de la EUA asientan la alternativa de utilizar a esta variable como un indicador universal que permita la elección de sistemas de producción sustentables.

Se incluye al concepto de sustentabilidad dado que en el manejo eficiente del agua están reflejadas indirectamente las prácticas agrícolas que se realizan, en una sucesión de cultivos planteada, considerando la importancia de la incorporación de materia orgánica a los lotes, que aumentará la capacidad de captación y almacenaje de agua del suelo.

A su vez tendrá influencia en la porosidad, generando microcanales de mayor tamaño capaces de retener agua útil, estos dos factores mencionados mejorarán la oferta hídrica, consecuentemente los cultivos tendrán una mayor disponibilidad para aprovechar el agua, reflejado en una mayor eficiencia del uso.

Funciones de producción de rendimiento

En este trabajo se estudiaron las diferentes funciones de producción (Solomon, 1985; Howell *et al.*, 1990) que relacionan con el volumen total de agua recibido por el cultivo.

El método estadístico utilizado fue el de la regresión simple. Se utilizaron funciones polinómicas de primer y segundo grado, determinándose en cada caso sus coeficientes de

determinación (R^2), el nivel de significación estadístico y el análisis residual, que incluye la varianza, la desviación típica y la media.

Para el caso del rendimiento de berenjena la función matemática obtenida, fue una ecuación lineal del tipo $Y = 608,91x - 11.157$ con un coeficiente de determinación altamente significativo ($P < 1\%$), cuyo valor de $R^2=0,9909$, significa que aproximadamente el 99% de la variación en el rendimiento de la berenjena está explicado por la lámina de agua aplicada.

Estos resultados nos indican el efecto directamente proporcional que existe entre el rendimiento y las láminas de riego aplicadas, en donde cada incremento unitario del porcentaje de la lámina de riego es capaz de producir un incremento de más de 600 kg en el rendimiento de la berenjena. Sánchez *et al.* (2004), trabajando con cinco tratamientos de riego y dos variedades de berenjena (Morada y Lila gris) en el valle del Sinú, Colombia, reporta en esta relación una ecuación exponencial del tipo $y = 14365x^{0,2985}$ con un coeficiente de determinación de $R^2=0,9541$.

En la figura 4, se observa que las producciones máximas por encima de 96 ton ha^{-1} , se obtuvieron con el tratamiento 120% de la ETc (345,88 mm de agua), con diferencias estadísticas con respecto al resto de los otros tratamientos.

Esto significa que para el cv. Long purple de Berenjena en el Valle del Río Guarapiche, durante la época seca, la dosis de riego aplicada debe ser de 120% de la ETc, en nuestro caso estuvo representada por una dosis diaria promedio de 4 mm/día o 1,32 litros/día/planta.

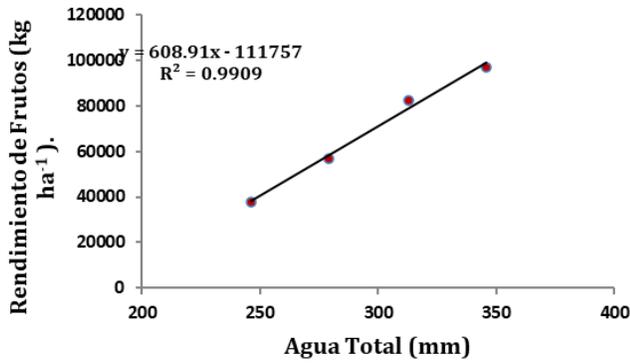


Figura 3. Función de producción que relaciona el rendimiento del cultivo de berenjena (*Solanum melongena* L.) cv. Long purple y el agua total (riego + precipitación efectiva) recibida por el cultivo.

Ayas (2017) en condiciones de invernadero también observó relaciones lineales entre la evapotranspiración del cultivo (ETc) con la productividad del rendimiento (Ya) y reporta la ecuación: $Y_a = 0,1489ET_c - 8,063$ con $R^2 =$

0,99 donde la mayor productividad de rendimiento lo obtuvo de la aplicación de 100% ETc con 62 t ha⁻¹. Gil *et al.* (2014) para el cultivo de melón encontró unas tendencias muy diferentes, ya que las producciones máximas por encima de 29 ton ha⁻¹, se obtuvieron con el tratamiento 80% de la ETc (421 mm de agua), con diferencias estadísticas con respecto al tratamiento excedentario (120% ETc). En cambio, en la berenjena para el factor riego, siempre se observó a lo largo de todas las cosechas, que el tratamiento superior fue el 1 (120% de la ETc), lo que nos indica una tendencia directamente proporcional entre la lámina aplicada y la producción de la berenjena, que pone en manifiesto las exigencias hídricas de este cultivo.

Funciones de producción de los componentes de calidad del fruto

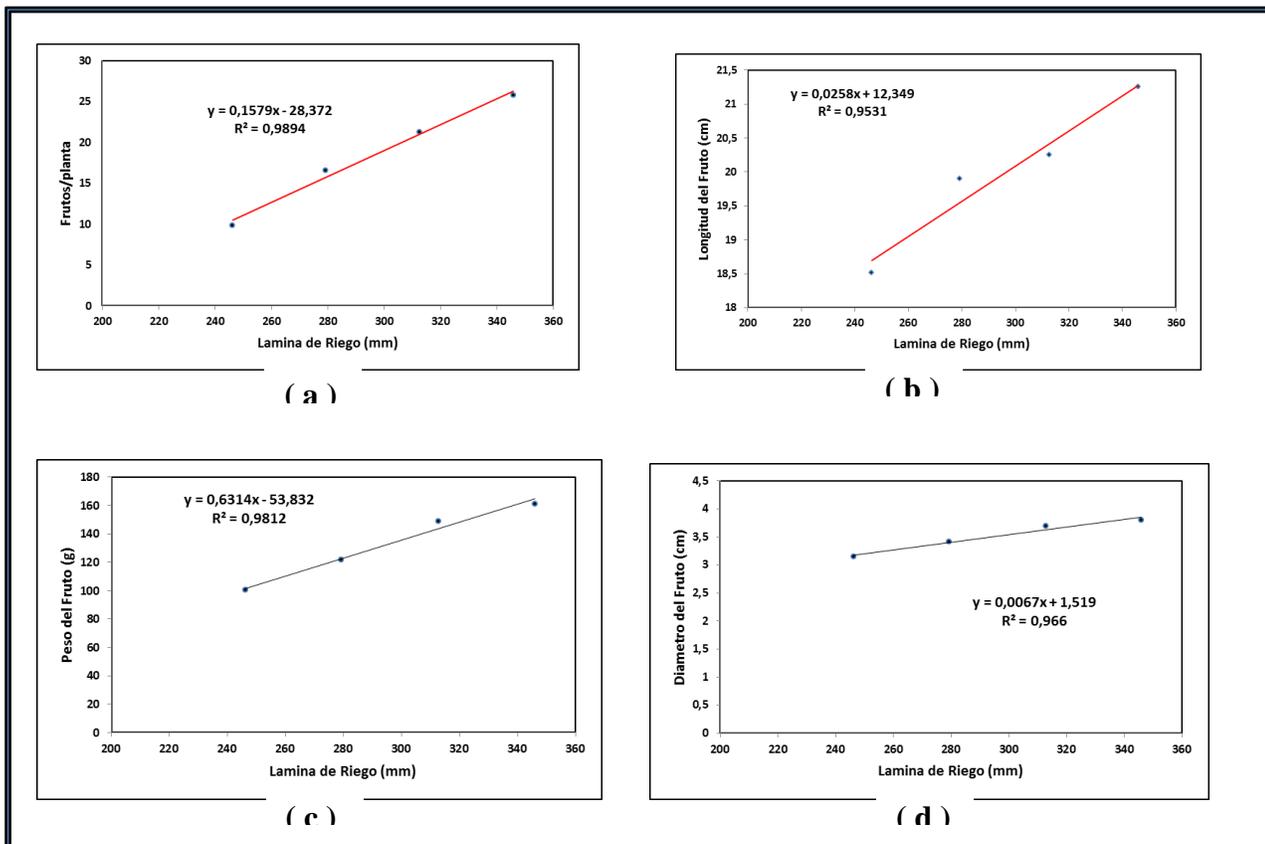


Figura 4. Relación de la lámina de riego aplicada con las variables de calidad (a) frutos/planta; (b) Longitud del fruto; (c) peso del fruto y (d) diámetro del fruto.



Se determinó un alto nivel de relación lineal entre frutos/planta, longitud, peso y diámetro del fruto, con la cantidad de agua aplicada. Las ecuaciones lineales fueron las siguientes:

$$\text{Frutos/plantas} = 0,1579\text{ETc} - 28,372$$

$$R^2 = 0,9894 \text{ (Figura. 5.a);}$$

$$\text{Longitud de fruto} = 0,0258\text{ETc} + 12,349$$

$$R^2 = 0,9531 \text{ (Figura. 5.b);}$$

$$\text{Peso de fruto} = 0,6314\text{ETc} - 53,832$$

$$R^2 = 0,9812 \text{ (Fig. 5. c.)}$$

$$\text{Diámetro de fruto} = 0,0067\text{ETc} + 1,519$$

$$R^2 = 0,966 \text{ (Fig. 5. d.)}$$

Los regímenes de riego tuvieron un efecto altamente significativo sobre los diferentes parámetros de calidad. Las variables más afectadas por las láminas fueron frutos/planta y número de frutos.

Díaz-Pérez y Eaton (2015) también observaron en berenjena el efecto de disminución del régimen de riego sobre las variables número de frutos y peso del fruto y determinaron que el tratamiento más crítico fue el de 33% ETc.

Smittle *et al.* (1994), Kırnak *et al.* (2002), Karam *et al.* (2011), Pirboneh *et al.* (2012) y Demirel *et al.* (2014) informaron que el estrés hídrico resultó en una reducción de la longitud de la fruta, el volumen de la fruta y diámetro de la berenjena. Nuestros resultados están en general de acuerdo con los hallazgos de la investigación antes mencionados sobre los parámetros de calidad de la fruta.

Factor de respuesta de rendimiento (Ky)

La relación lineal entre la disminución proporcional en el consumo de agua y la disminución proporcional en la productividad del

rendimiento se representa como el factor de respuesta de la productividad del rendimiento del cultivo (Ky); que constituye la respuesta de la productividad del rendimiento que se reducirá en el consumo de agua.

En otras palabras, explica la disminución de la productividad del rendimiento en relación con la disminución del consumo de agua por unidad (Stewart *et al.*, 1975; Doorenbos y Kassam, 1979). Para la aplicación de riego, el factor de respuesta de productividad de rendimiento estacional (Ky) se calculó como 2,08 (Figura. 5).

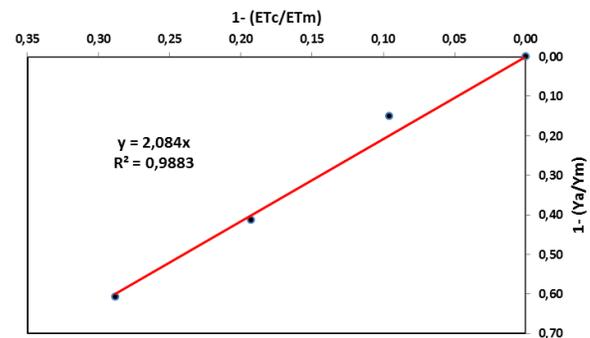


Figura 5. Relación entre la disminución relativa del rendimiento y la disminución relativa de la Evapotranspiración del cultivo en berenjena en su ciclo total de crecimiento.

Los valores de ky disminuyen en paralelo con los aumentos de la cantidad de agua (Cuadro 3). El valor especificado de ky (2,08), que es superior a 1,00, indica que la berenjena es altamente sensible al déficit hídrico, con una disminución del rendimiento proporcionalmente mayor que la disminución del uso del agua debido al estrés.

Ayas (2017) en condiciones de invernadero reporta un valor de 1,14. Este valor de Ky >1, también coincide con los valores encontrados por otros investigadores en berenjena (Kara *et al.*, 1996; Lovelli *et al.*, 2007; Dutta y Tafardar, 2008; Karam *et al.*, 2009).

Tabla 3. Relación de disminución relativa del rendimiento, disminución relativa del uso del agua y factor de respuesta del cultivo para los diferentes tratamientos de riego.

Tratamiento de Riego	Nivel de Etc (%)	ETc (mm)	Rendimiento t/ha	ETc/ETm	Ya/Ym	1-(ETc/ETm)	1-(Ya/Ym)	Ky
T1	120,00	345,88	96,92	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
T2	100,00	312,68	82,24	0,90	0,85	0,10	0,15	1,58
T3	80,00	279,28	56,90	0,81	0,59	0,19	0,41	2,14
T4	60,00	246,28	37,94	0,71	0,39	0,29	0,61	2,11

CONCLUSIONES

Los objetivos finales de las estrategias óptimas de la gestión de riego en áreas deficitarias son mejorar el rendimiento, la calidad del fruto tanto como sea posible, aumentar la EUA y reducir el consumo de agua. El tratamiento 120% ETc permitió el máximo rendimiento y calidad (en términos de frutos/planta, longitud, diámetro y peso de la fruta), y la mayor EUA. El máximo rendimiento obtenido fue de 96,92 t ha⁻¹ y la mayor eficiencia del uso del agua 28,02 kg m⁻³.

Todas las funciones de producción del rendimiento y de los parámetros de calidad del fruto obedecen a una ecuación matemática del tipo lineal con un alto valor de coeficiente de determinación R² por encima del 90%.

El factor de respuesta del rendimiento del cultivo de la berenjena (2,08) mayor de 1,00 muestra que la berenjena es muy susceptible al déficit de agua.

Para la zona de estudio se recomienda una dosis de riego de 120% de la ETc, la cual es equivalente a una dosis diaria promedio de 4 mm/día o 1,32 litros/día/planta en la época de floración y formación del fruto de berenjena.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith, M. (1998). Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Requirements. *Irrig. Drain. Paper No. 56*. FAO, Rome, Italy.

Amiri, E., Abdzad Gohari, A. y Esmailian Y. (2012). Effect of irrigation and nitrogen on yield, yield components and water use efficiency of eggplant. *African Journal of Biotechnology Vol. 11(13), pp. 3070-3079*.

Anwar, M.R., Liu, D.L., Macadam, I., Kelly, G., (2013). Adapting agriculture to climate change: a review. *Theor. Appl. Climatol. 113, 225–245*.

Asghar Ghaemi, A. y Rafie Rafiee M. (2016). Evapotranspiration and Yield of Eggplant under Salinity and Water Deficit: A Comparison between Greenhouse and Outdoor Cultivation. *Modern Applied Science; Vol. 10, No. 11, pp.8-16*.

Aujla, M. S., Thind, H. S., Buttar, G. S. (2007). Fruit yield and water use efficiency of eggplant (*Solanum Melongema* L.) as influenced by different quantities of nitrogen and water applied through drip and furrow irrigation. *Scientia Horticulturae 112: 142-148*.

Ayas Serhat (2017). The Effects of Irrigation Regimes on the Yield and Water Use of Eggplant (*Solanum melongena* L.). *Toprak Su Dergisi, 2017, 6 (2): (49-58)*.

Badr, M. A., El-Tohamy, W. A., Abou-Hussein S. D. and Gruda N. S. (2020). Deficit Irrigation and Arbuscular Mycorrhiza as a Water-Saving Strategy for Eggplant Production. *Horticulturae 2020, 6, 45: (1-17)*.

- Bloch, D., Hoffmann, C. M., Marlander, B. (2006): Impact of water supply on photosynthesis, water use and carbon isotope discrimination of sugar beet genotypes. *Eur. J. Agron.* 24: 218-225.
- Bozkurt Çolak, Y. (2019). Effects of Irrigation Frequency and Level on Yield and Stomatal Resistance of Eggplant (*Solanum Melongena L.*) Grown in Open Field Irrigated with Surface and Subsurface Drip Methods. *Applied Ecology and Environmental Research* 17(6):15585-15604.
- Bozkurt Çolak, Y., Yazar, A., Gönen, E., y Çağlar Eroğlu E. (2018). Yield and quality response of surface and subsurface drip-irrigated eggplant and comparison of net returns. *Agricultural Water Management* 206 (2018) 165–175.
- Chaves, M.M., Maroco, J.P., Pereira, J.S. (2003). Understanding plant responses to drought from genes to whole plant. *Funct. Plant Biol.* 30, 23–264.
- Confederación Nacional de Asociaciones de Productores Agropecuarios (FEDEAGRO). (2009). Producción agrícola. Disponible en: <http://www.fedeagro.org/produccion/Rubros.asp>. Fecha de acceso: 22 de octubre de 2019.
- Demirel, K., Genc, L., Bahar, E., Inalpulat, M., Smith, S., Kizil, U. (2014). Yield estimate using spectral indices in eggplant and bell pepper grown under deficit irrigation. *Fresen. Environ. Bull.* 23 (5), 1232–1237.
- Diaz-Perez, J.C., Eaton, T.E., (2015). Eggplant (*Solanum melongena L.*) plant growth and fruit yield as affected by drip irrigation rate. *Hortscience* 50 (11), 1709–1714.
- Doorenbos, J.; Kassam, A.H. (1979). Yield response to water. *FAO Irrigation and drainage. Paper N. ° 33*.
- Dutta D and Tafardar P K (2008). Crop-Water Productivity of Eggplant (*Solanum melongena L.*) as Influenced by Irrigation and Mulch in Semi-Arid Region of West Bengal, India. Department of Agronomy, Department of Soil and Water Conservation, Bidhan Chandra Krishi Viswavidyalaya (BCKV), Mohanpur-741252, Nadia, West Bengal, India.
- FAO. (2019). Food and agriculture data. Available online at: <http://www.fao.org/faostat/en/#home>, Accessed date: 10 February 2019.
- Fernández García, I., Lecina, S., Ruiz-Sánchez, M. C., Vera, J., Conejero, W., Conesa, M. R., Domínguez, A., Pardo, J. J., Lélis, B. C. and Montesinos, P. (2020). Trends and Challenges in Irrigation Scheduling in the Semi-Arid Area of Spain. *Water*, 12 (3), p. 785.
- Fowler, C., Moore, G., Hawtin, G.C. (2003). The International Treaty on Plant Genetic Resources for Food and Agriculture: A Primer for the Future Harvest Centre's of the CGIAR. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy.
- Gil, J. A.; N. Montaña, R. Plaza. (2012). Efecto del riego y la cobertura del suelo sobre la productividad de dos cultivares de ají dulce. *Revista Biagro*.24 (2).143-148.
- Gil, J. A.; N. Montaña, J.A. Valderrama. (2014). Efecto de cuatro láminas de riego y dos edades de trasplante sobre el rendimiento y producción de dos cultivares de melón (*Cucumis melo L.*). *Revista UDO-Agrícola*.14 (1).
- Howell, T. A.; R. H. Cuenca and K. H. Solomon.(1990). Crop yield response. In: G. J. Hoffman, R.A. Howell, and K. H. Solomon. (Eds). *Management of Farm Irrigation System. ASAE Monograph, St.*

- Joseph, Michigan, United States of America. p. 93-122.
- Kara C, Gündüz M, Sipahi N (1996) Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü. Şanlıurfa Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları. *Genel Yayın No:108, Rapor Serisi No:79*.
- Karam F, Saliba R, Skaf S, Breidy J, Roupael Y, Balendock J (2009). Yield and Water Use of Eggplants (*Solanum melongena* L.) Under Full and Deficit Irrigation Regimes. *Agricultural Water Management* 98:1307–1316.
- Karam, F., Sabiha, R., Skaf, S., Breidy, J., Roupael, Y., Balendonck, J. (2011): Yield and water use of eggplants (*Solanum Melongena* L.) under full and deficit irrigation regimes. *Agricultural Water Management* 98: 1307-1316.
- Kemble, J. M., Sikora, E. J., Simonne, E. H., Zehnder, G. W., Patterson, M. G. (1998): Guide to Commercial Eggplant Production. – Agronomy and Soils, all at Auburn Univ. ANR-1098.
- Kırnak H, Ismail T, Cengiz K, David H (2002). Effects of deficit irrigation on growth, yield and yield quality of eggplant under semi-arid conditions. *Aus. Jour. of Agri. Res.* 53(12): 1367–1373.
- Kuşçu, H., Çetin, B., Turhan, A. (2009): Yield and economic return of drip-irrigated vegetable production in Turkey. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 37: 51-59.
- Lovelli, S., Perniola, M., Ferrara, A., Di Tommaso, T. (2007): Yield response factor to water (Ky) and water use efficiency of *Carthamus tinctorius* L. and *Solanum melongena* L. *Agric. Water Manage.* 92: 73-80.
- Mohamed, I Y., Moustafa, A.M, Osman, A.O, y Mohamed Abdalhi, M.A. (2020). Effect of Irrigation Systems and Watering Amount on Yield of Eggplant (*Solanum melongena*) Under Arid Conditions. *Agricultural and Biological Sciences Journal* Vol. 6, No. 3, 2020, pp. 143-147.
- Mohawesh, O. (2016): Utilizing deficit irrigation to enhance growth performance and water-use efficiency of eggplant in arid environments. *Journal of Agricultural Science and Technology* 18(1): 265-276.
- Montaño, N; Simosa; J. Perdomo, A. (2009). Respuesta de tres cultivares de berenjena (*Solanum melongena* L.) a diferentes combinaciones de Fertilizante orgánico y fertilizante químico, Universidad de Oriente. Escuela de Ingeniería Agronómica. Departamento de Agronomía, *Revista Científica UDO Agrícola*, 9 (4): 807-815.
- Montaño Mata, N.J; Gil Marín, J.A y Yeniledys Palmares. (2018). Rendimiento de pepino (*Cucumis sativus* L.) en función del tipo de bandeja y la edad de trasplante de las plántulas. *Anales Científicos*, 79 (2): 377 - 385.
- Opoku Darko, R., Yuan, S., Kumi, F. y Quaye F. (2019). Effect of Deficit Irrigation on Yield and Quality of Eggplant. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology (IJEAB)*. Vol-4, Issue-5, Sep-Oct-. pp. 1325-1333.
- Passioura, J. B., Angus, J. F. (2010): Improving productivity of crops in water-limited environments. – In: Sparks, D. L. (ed.) *Advances in Agronomy* 106: 37-75.
- Plazas M.; Trong Nguyen H.; González-Orenga S.; Fita A.; Vicente O.; Prohens J y Boscaiu M. (2019). Comparative analysis of the responses to water stress in eggplant (*Solanum melongena*) cultivars. *Plant Physiology and Biochemistry* 143 (2019) 72–82.

- Pirboneh, H., Ghasemi, M., Gohari, A.A., Bahari, B., Bazkiyaei, Z.B. (2012). Effect of irrigation and straw mulch on yield components of eggplant (*Solanum Melongena*L.). *Int. Res. J. Appl. Basic Sci.* 3 (1), 46–51.
- Ranjan, A., Mishra, D. H. and Singh, I. (2018). Performance evaluation of drip irrigation under high density planting of papaya. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*2018; 7 (3): 2262-2270.
- Sánchez C., A. Arrieta A., S. Flórez D, T. Mercado, J. Martínez A. y A Martínez R. (2004). Requerimiento hídrico de la berenjena *Solanum melongena* L. bajo riego por goteo en el Valle del Sinú. *Agronomía Colombiana*, 2004. 22 (2): 170-176.
- Sarker, B. C., Hara, M., Uemura, M. (2005): Proline synthesis, physiological responses, and biomass yield of eggplants during and after repetitive soil moisture stress. *Sci. Hortic.* 103: 387-402.
- Sezen, S. M., Yazar, A., Daşgan, Y., Yücel, S., Akyıldız, A., Tekin, S., Akhoundnejad, Y. (2014): Evaluation of crop water stress index (CWSI) for red pepper with drip and furrow irrigation under varying irrigation regimes. *Agric. Water Manage.* 143: 59-70.
- Smittle, D.A., Dickens, W.L., Stansell, J.R., (1994). Irrigation regimes affect yield and water use by bell pepper. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 119, 936–939.
- Solomon, K. H. (1985). Tropical crop water production functions. Winter Meeting. ASCE, Chicago, Illinois, United State of America. 85:17-20.
- Stewart J I, Misra R D, Pruitt W O, Hagan R M (1975). Irrigating corn and sorghum with a deficient water supply. *Trans. ASAE*, 18:270–280.
- Taylor, R. and Zilberman, D. (2017). Diffusion of drip irrigation: the case of California. *Applied economic perspectives and policy*, 39 (1), pp. 16-40.
- Yang, M. D., Leghari, S. J., Guan, X. K., Ma, S. C., Ding, C. M., Mei, F. J., Wei, L. and Wang, T. C. (2020). Deficit Subsurface Drip Irrigation Improves Water Use Efficiency and Stabilizes Yield by Enhancing Subsoil Water Extraction in Winter Wheat. *Frontiers in Plant Science*, 11.