

Efecto del riego localizado en el rendimiento del melón de agua (*Citrullus lanatus* Thunb.)

Effect of Localized Irrigation on the Yield of Watermelon (*Citrullus lanatus* Thunb.)

^{ID}Reinaldo Cun González*, ^{ID}Julián Herrera Puebla, ^{ID}Enrique Cisneros Zayas,
^{ID}Yoima Chaterlán Durruthy y ^{ID}Felicita González Robaina

Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba. E-mail: julian.herrera@iagric.minag.gob.cu,
enrique.cisneros@iagric.minag.gob.cu, yoima.chaterlan@iagric.minag.gob.cu, felicita.gonzalez@boyeros.iagric.cu

*Autor para correspondencia: Reinaldo Cun González, e-mail: reinaldo.cun@iagric.minag.gob.cu

RESUMEN: El trabajo se realizó en la Estación Experimental del Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola en la Provincia de Artemisa, sobre un suelo Ferralítico Rojo compactado. El objetivo fue evaluar el efecto de las técnicas de riego localizado (exudación y goteo) en el rendimiento del cultivo del melón de agua (*Citrullus lanatus* Thunb.). Para el estudio se seleccionó un área de 0,46 ha la cual se dividió en dos partes iguales y se estudiaron dos variantes, una regada con un sistema de riego por exudación y otra regada por goteo. La evaluación hidráulica en cada sistema se realizó mediante el estudio de la uniformidad de los gastos en los emisores, se determinó el rendimiento con sus componentes y la productividad agronómica del agua. Como resultado se tiene que el sistema de riego por goteo alcanzó el mayor coeficiente de uniformidad de los gastos (88%), clasificado como bueno. El régimen de riego aplicado, unido a las precipitaciones, mantuvo la humedad del suelo dentro de los rangos óptimos establecidos (-20 kPa), evitando el estrés hídrico y garantizando un desarrollo adecuado del cultivo de melón de agua sin limitaciones de agua. El riego por exudación mostró ventaja agronómica sobre el riego por goteo, evidenciada en el mayor largo medio del fruto y un rendimiento estimado superior en un 3%. La productividad del agua (5,8 kg/m³) fue ligeramente superior respecto al goteo (5,7 kg/m³), lo que evidencia que ambos sistemas pueden ser utilizados para el riego del cultivo.

Palabras clave: caudal de emisión, coeficiente de uniformidad, melón de agua, productividad del agua, régimen de riego, riego por goteo, riego por exudación.

ABSTRACT: The study was conducted at the Experimental Station of the Institute of Agricultural Engineering Research in Artemisa Province, on compacted Red Ferralitic soil. The objective was to evaluate the effect of localized irrigation techniques (exudation and drip) on the yield of watermelon (*Citrullus lanatus* Thunb.). A 0.46 ha plot was divided into two equal parts, one irrigated with an exudation system and the other with drip irrigation. Hydraulic evaluation in each system was carried out through the study of emitter discharge uniformity, and crop yield components as well as agronomic water productivity were determined. Results showed that the highest coefficient of discharge uniformity was achieved with drip irrigation (88%), classified as good. The applied irrigation regime, combined with rainfall, maintained soil moisture within the optimal range (-20 kPa), preventing water stress and ensuring adequate crop development without water limitations. Exudation irrigation demonstrated agronomic advantages over drip irrigation, evidenced by greater average fruit length and an estimated yield 3% higher. Water productivity (5.8 kg/m³) was slightly superior compared to drip irrigation (5.7 kg/m³), indicating that both systems can be effectively used for watermelon cultivation.

Key words: coefficient of uniformity, drip irrigation, exudation irrigation, flow rate, irrigation regime, water melon, water productivity.

INTRODUCCIÓN

La sandía o melón de agua (*Citrullus lanatus* Thunb.) se siembra en Cuba desde hace muchos años, los frutos son de alta aceptación por parte de la población y se consumen frescos. La importancia de esta hortaliza consiste en el contenido de azúcares presentes en el jugo de su pulpa que alcanzan entre un 7% y 8% debido a las características de nuestro clima (Rodríguez et al., 2011).

El agua es un elemento que puede afectar significativamente el crecimiento vegetal y los procesos fisiológicos y bioquímicos por lo tanto su aplicación debe hacerse de forma eficiente (Nadal y Flexas, 2019; Kumar et al., 2023). El riego localizado

de alta frecuencia es una técnica avanzada que suministra agua a las plantas y permite incrementar la rentabilidad del cultivo mediante el aumento en el rendimiento y la calidad de los productos. También incrementa la eficiencia en el uso del agua evitando prácticamente las pérdidas por evaporación, escurrimiento superficial y percolación profunda (Liu et al., 2025). Según Mohamed et al. (2012), este método de riego es el más apropiado para los cultivos de las hortalizas en general y en específico para la sandía, y es adaptable a cualquier tipo de terreno cultivable. Uno de los principales problemas de este método son las obturaciones de los emisores.

Recibido: 03/01/2026

Aceptado: 01/05/2026

Conflictos de interés: Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

Contribución de los autores: Conceptualización: Reinaldo Cun González. Curación de datos, Investigación: Reinaldo Cun González, Julián Herrera Puebla, Yoima Chaterlán Durruthy, Felicita González Robaina. Metodología, Redacción-revisión y edición: Reinaldo Cun González, Julián Herrera Puebla. Supervisión: Reinaldo Cun González, Julián Herrera Puebla, Yoima Chaterlán Durruthy, Enrique Cisneros Zayas, Felicita González Robaina. Redacción-borrador original: Reinaldo Cun González, Julián Herrera Puebla, Enrique Cisneros Zayas. La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a fines de identificación, no existe ningún compromiso promocional relacionado con los mismos, ni para los autores ni para el editor.



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0).
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



El riego por exudación es un sistema de riego localizado que aplica el agua de forma continua mediante un tubo poroso que exuda agua en toda su longitud y en la totalidad o parte de su superficie. A diferencia de la técnica por gotero con un único punto de emisión, la multitud de puntos de emisión de las tuberías porosas le confieren ventajas a su comportamiento hidráulico como los relacionados con la obturación (Casado & Sirgado, 2015). Con vistas al incremento de la uniformidad y la eficiencia del uso del agua en el riego, la industria del riego localizado tiende al desarrollo de nuevos equipamientos utilizando varias estrategias como el empleo de nuevas materias primas o desarrollando productos con nuevos conceptos de emisión de agua.

En la actualidad se presentan dos nuevas variantes, una de ellas el riego sub superficial, y la otra el desarrollo de tuberías geotextiles porosas, las cuales, según la literatura internacional ofrecen grandes perspectivas, pero no han sido evaluadas en Cuba o solo han sido evaluadas en una gama estrecha de cultivos.

Los resultados de esta investigación responden al principio 5 y 12 de la Política para la mecanización, el riego, el drenaje agrícola y el abasto de agua a los animales, del Ministerio de la Agricultura (2018), que plantean: 5. “Garantizar la introducción y empleo de medios de mecanización agrícola y equipamiento de riego y drenaje, que favorezcan el cuidado y conservación del suelo, del medio ambiente, el uso racional del agua y el empleo de las fuentes renovables de energía”. 12. Incrementar la explotación de la infraestructura hidráulica, utilizando técnicas de riego eficientes, que garanticen el uso y reúso racional del agua; sustituir progresivamente su bombeo con combustible diésel por otras fuentes renovables de energía, tanto para el abasto a los animales como para el riego donde sea posible.

El presente trabajo tiene como objetivo principal evaluar el efecto de las técnicas de riego localizado por exudación y por goteo en el rendimiento del cultivo del melón de agua (*Citrullus lanatus* Thunb.).

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en Estación Experimental del Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola

(IAgric), situada en Alquizar, provincia Artemisa, con las coordenadas: Latitud 22° 46' 50" N y Longitud 82° 36' 5" O, a una altura sobre el nivel medio del mar de 6 m y a 12 km de la costa. El área de trabajo cuenta con una superficie de 0,46 ha, esta se dividió en dos áreas de 0,23 ha, sobre un suelo Ferralítico Rojo compactado caracterizado en estudios anteriores en cuanto a sus propiedades hidrofísicas por Cid et al. (2012) y López et al. (2008). Tabla 1.

La Tabla 2 muestra las propiedades químicas del suelo, como podemos observar, el pH en agua alcanzó un valor de 7,32, condición neutra a ligeramente alcalina por encima del rango óptimo (5,5-6,5) recomendado para cucurbitáceas, según Silva et al. (2018), este valor influye en el desarrollo del cultivo. El contenido de materia orgánica (2,0 %) es pobre, reflejando la limitada capacidad de retención de nutrientes característica de estos suelos. (Morales Díaz et al., 2010). La conductividad eléctrica (0,14 dS/m) indica ausencia de problemas de salinidad, condición favorable, según López et al. (2017), la sandía reduce su rendimiento en suelos con Conductividad Eléctrica superiores a 2 dS/m.

El fósforo disponible (28,96 meq P₂O₅/100 g) se encuentra en niveles altos, lo que constituye una ventaja para el desarrollo inicial y la floración del cultivo. El potasio intercambiable (0,46 meq/100 g) y el calcio (6,24 meq/100 g) son adecuados para sostener la calidad de los frutos, mientras que el magnesio (0,45 meq/100 g) es bajo, reflejado en una relación Ca/Mg de 13,87, superior al rango óptimo (5-8). En conjunto, el suelo ofrece condiciones favorables al cultivo en términos de fósforo, potasio y ausencia de salinidad.

El cultivo estudiado fue el melón (*Citrullus lanatus* Thunb.), variedad Tropical CH-2, con un ciclo de 110 días, un marco de plantación de 2,00 m x 0,5 m a una profundidad de 3 cm (Rodríguez et al., 2011). La fertilización se realizó según lo recomendado por el Instructivo Técnico del cultivo del melón, pepino y calabaza del Ministerio de la Agricultura (2019), 138 kg/ha (nitrógeno), 64 kg/ha (fósforo), 132 kg/ha (potasio). Durante el periodo experimental las precipitaciones fueron registradas en un pluviómetro ubicado en la zona y la evaporación fue registrada mediante una estación Evaporimétrica.

Tabla 1. Propiedades hidrofísicas

Profundidad	CC (cm ³ /cm ³)	Da a CC (g/cm ³)	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	Pt (%)
0-20	0,394	1,18	57,4	21,7	20,9	53,7
20-40	0,431	1,28	61,8	20,5	17,7	49,2
40-60	0,397	1,20	62,8	14,3	28,9	51,6
60-80	0,396	1,20	61,4	18,3	20,3	51,6

Tabla 2. Propiedades químicas del suelo

pH en Agua	Conductividad Eléctrica (dS/m)	Materia Orgánica M.O. (%)	Fosforo disponible (meq) P ₂ O ₅ /100 (g)	meq K/100 (g)	meq Ca/100 (g)	meq Mg/100 (g)	Relación Ca/Mg
7,32	0,14	2,00	28,96	0,46	6,24	0,45	13,87

Para el estudio se utilizó el método de riego localizado de alta frecuencia conformado por el cabezal de riego con sistema de filtrado doble cuerpo de 3 pulgadas de diámetro que permitió el filtrado del agua en los turnos de riego. En el caso de la técnica de exudación se utilizaron tuberías VISAREG, la presión de trabajo y el caudal variaron según el fabricante, entre 2 y 10 m.c.a, el caudal entre 2 y 8 L/h/m, la separación entre laterales en este caso fue de 2,00 m. En el caso de la técnica de goteo se utilizaron Goteros RHEIN SAUDI, gasto: 4,0 L/h (presión en cabezal 2,5 bar). Goteros separados a 0,50 m y entre lateral 2,00 m.

Los tratamientos estudiados fueron los siguientes:

T1: Riego del cultivo del melón de agua (sandía) con sistema localizado por exudación.

T2: Riego del cultivo del melón de agua (sandía) con sistema localizado por goteo.

En cada área se seleccionarán 16 puntos sistemáticos, y en cada punto se tomó 8 m² donde se realizaron mediciones que coincidan con este punto. Cada tratamiento contó con 16 réplicas. (Figura 1)

Para determinar las características del año climático se partió de una serie anual pluviométrica cronológica y continua desde el año 2017 al 2023. Se efectuó un ordenamiento descendente de los datos disponibles, enumerándose cada miembro de la serie y determinando su respectiva probabilidad (P) empírica mediante la expresión:

$$P = \left(m - \frac{0.3}{n} + 0.4 \right) * 100 \quad (1)$$

donde:

m: número de orden.

n: número de miembros de la serie.

El primer nivel de probabilidad (25%) denota un escenario húmedo, el segundo (50%) normal y el tercero (75%) seco (Pérez 2005).

El régimen de riego se aplicó a intervalo fijo con norma variable, cada 2 días. La ETo (Evapotranspiración de referencia) se calculó tomando el valor de la evaporación en el tanque evaporímetro clase "A" y se multiplicó por el coeficiente de tanque (Herrera et al., 2024), para cada mes del año, según la expresión (2). La humedad en el suelo fue registrada mediante la colocación de 2 baterías de tensiómetros, una en cada tratamiento a la profundidad de 15 y 30 cm, separados a 20 cm entre sí sobre los canchales.

$$ET_0 = E_0 \times K_p \quad (2)$$

donde:

ETo: Evapotranspiración de referencia (mm) Eo: Evaporación del tanque evaporímetro clase A (mm) Kp: Coeficiente de tanque (adimensional).

Se calculó la evapotranspiración del cultivo mediante la expresión:

$$ET_c = ET_0 \times K_c \quad (3)$$

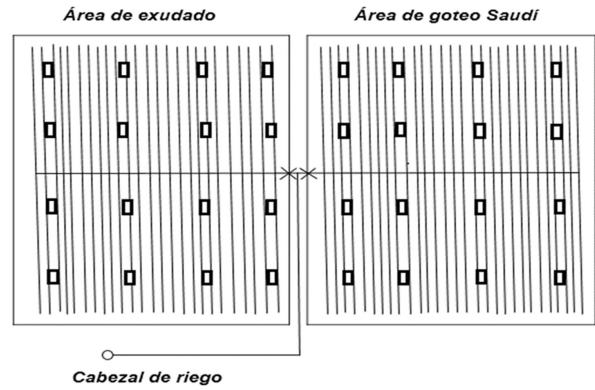


Figura 1. Esquema del área experimental con la distribución de las réplicas en cada área de estudio.

ETo: Evapotranspiración de referencia (mm). ETc: Evapotranspiración del cultivo (mm). Kc: Coeficiente del cultivo (adimensional), 0,4 fase de germinación al inicio de floración, 1,0 inicio de floración a fructificación, 0,75 fructificación a la cosecha (Allen, 2006).

La uniformidad de riego en el campo se evaluó mediante la determinación del Coeficiente de Uniformidad (Cu), en este caso se utilizó la metodología descrita por Merriam & Keller (1978) presente en la Norma Cubana: Técnicas de Riego. Riego localizado. Evaluación Hidráulica NC 15097 (2007), IDT.

Todas las lecturas de volumen se convirtieron a caudal (litros por hora), utilizando la expresión siguiente:

$$Q = \left(\frac{V}{t} \right) \quad (4)$$

donde:

Q: Caudal del gotero evaluado (L/h). V: Volumen de agua recolectado en cada emisor evaluado (L).

t: Tiempo utilizado en la evaluación (minutos).

Con los datos de los volúmenes de agua recogidos en el campo, se calculó el Coeficiente de Uniformidad para el gasto en la sub unidad de riego evaluada, utilizando la siguiente expresión:

$$Cu_g = 100 * \left(\frac{\bar{Q}_{25}}{\bar{Q}_n} \right) \quad (5)$$

donde:

$\bar{Q}_{25}$: Media de los valores del 25% más bajo del gasto registrado en el emisor (L/h). $\bar{Q}_n$: Media del total de los valores de gasto (L/h), Cu_g : Coeficiente de uniformidad para el gasto (%).

Con los datos de las presiones mínimas obtenidas en la unidad operacional de riego que contiene la subunidad evaluada, se calculó el factor de corrección de las descargas (Fc), utilizando la expresión siguiente:

$$F_c = \left(\frac{\bar{H}_{25}}{\bar{H}_n} \right)^x \quad (6)$$

donde:

Fc: Factor de corrección de las descargas. H_{25} : Presión media del 25% de las presiones más bajas dentro de las mínimas de las subunidades medidas (bar). H_n : Presión media de todas las presiones mínimas de las subunidades de la unidad operacional de riego en donde se halla la subunidad evaluada (bar). X: Exponente de descarga del emisor.

Calculado el factor de corrección, se procedió a calcular la Uniformidad de Riego del Sistema aplicando la siguiente expresión:

$$Cu = (Fc * Cug) \quad (7)$$

donde:

Cug- Coeficiente de uniformidad del gasto (%). Fc: Factor de corrección.

Se caracterizó la uniformidad de riego (Tabla 3), mediante la determinación del Coeficiente de Uniformidad de riego (Cu), según los criterios de Merriam & Keller (1978):

Tabla 3. Valores recomendados para caracterizar la uniformidad de riego

90%-100%	Excelente
86%-94%	Bueno
80%-86%	Aceptable
70%-80%	Pobre
< 70%	Inaceptable

Para el análisis de la cosecha se tuvo en cuenta los componentes del rendimiento: largo de los frutos (cm), diámetro de los frutos (cm), peso medio de los frutos (g).

La productividad del agua (WP) se determinó mediante la expresión 8:

$$Pa_{agua} \left(\text{kg/m}^3 \right) = \frac{R(\text{kg})}{Irr(\text{m}^3)} \quad (8)$$

(González et al., 2015)

donde:

Pa_{agua} : productividad agronómica del agua (kg /m³). Irr: agua total aplicada (m³).

R: rendimiento (kg).

Los datos fueron procesados mediante análisis de varianza (ANOVA). Las diferencias entre las medias de los tratamientos estudiados se les aplicaron análisis de varianza de clasificación simple y la diferencia entre medias se comprobó con la Dócima de Tukey a un nivel de confianza del 95%. Toda la información generada de las observaciones fue procesada mediante el paquete estadístico Statgraphic Plus 5.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el período de desarrollo del cultivo la lluvia alcanzó un total de 396,0 mm, distribuida en 26 ocasiones,

en el caso de la evaporación, la media fue de 6,1 mm con un total en el período de 369,9 mm, siendo inferior a las precipitaciones. El comportamiento de estas variables climáticas es típico para este periodo.

En el análisis de probabilidad de ocurrencia de las precipitaciones (Figura 2), se evidencia la ecuación logarítmica: $y = -112,1 \ln(x) + 805,3$. El valor R^2 (coeficiente de determinación), obtenido fue de 0,9483 lo que indica la posibilidad de aplicar la ecuación de ajuste para calcular los valores anuales para los años del 25, 50 y 75% de probabilidad

Como se puede observar la precipitación disminuye a medida que aumenta la probabilidad de ocurrencia. Esta expresión precisa el comportamiento que tiene la curva de probabilidad, la cual proporcionará su uso en caso de que se solicite adquirir algún valor faltante dentro de la misma serie estudiada. El acumulado de precipitaciones en el periodo de estudio fue de 396,0 mm con una probabilidad de ocurrencia del 40 % este se clasifica como "medio húmedo" según Pérez et al. (2003). Iguales tendencias obtuvieron Duarte et al. (2018), Valdés (2017) para la zona de estudio.

Esta condición tuvo un impacto directo en la estrategia de riego implementada (Tabla 4). Se realizaron 11 riegos, con una norma neta parcial de 8,09 mm y una norma neta total de 89,00 mm (tabla 4), cifras considerablemente bajas en comparación con años secos o normales. Esta reducción se explica por el aporte significativo de la lluvia, que cubrió gran parte de las necesidades hídricas del cultivo.

Tabla 4. Resumen de la campaña de riego del cultivo del melón.

Número de riegos	Norma neta parcial (mm)	Norma neta total (mm)
11	8,09	89,00

Diversos autores han reportado que en condiciones de humedad en el suelo producto de las precipitaciones, el número de riegos y la norma aplicada tienden a disminuir. En años húmedos, el riego puede reducirse hasta un 40-60 %.

En estudios realizados por Rodríguez et al. (2019), reportan que, en años con más de 350 mm de lluvia, el número de riegos en sandía se reduce a menos de 12 con normas totales inferiores a 100 mm, similar a lo observado en este trabajo.

La baja norma aplicada refleja un manejo eficiente del riego, evitando excesos que podrían provocar asfixia radicular o enfermedades fúngicas. Este comportamiento confirma que, en años húmedos, el riego debe ser considerado como complemento y no como fuente principal de agua, lo que permite optimizar recursos y reducir costos operativos. Por otra parte trabajos realizados por Liu et al. (2019); (Sun et al. (2023), mostraron en el cultivo del melón de agua que el estrés hídrico durante la etapa de maduración promueve la acumulación de almidón en frutos inmaduros aumentando posteriormente el contenido de azúcares solubles y la calidad comercial de los mismos.

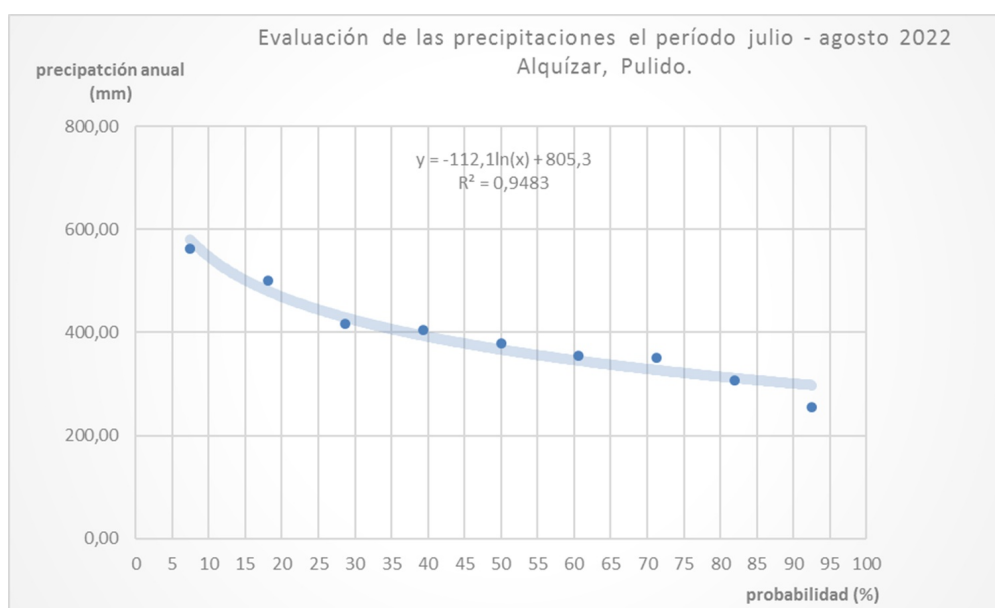


Figura 2. Evaluación de las precipitaciones en el periodo de junio - agosto 2022, Alquizar, Pulido.

La [Tabla 5](#) muestra los valores de Coeficiente de uniformidad de los gastos (%) y las presiones de trabajo de ambos sistemas (kPa). Se puede observar que el Coeficiente de uniformidad de los caudales en el riego por exudación alcanzó un valor de 80% clasificándose éste como aceptable y del sistema general 79% clasificándose como pobre según [Merriam & Keller \(1978\)](#), el caudal medio alcanzó en este sistema un valor de 10,0 L/h/m. En cuanto al riego por goteo SAUDI, el valor del Coeficiente de uniformidad de los caudales y del sistema en general alcanzó un valor de 88%, clasificándose éste como bueno según [Merriam & Keller \(1978\)](#). Resultados similares fueron encontrados por [Cun et al. \(2009\)](#) en evaluaciones realizadas en casas de cultivo con goteros, donde los coeficientes de uniformidad obtenidos fueron superiores al 87% y el gasto medio de los emisores alcanzó un valor de 0,87 L/h inferior al planteado por el fabricante (2,2 L/h) debido a que la presión de trabajo fue inferior a la recomendada por el fabricante. Valores de presión más bajo que el recomendado por el fabricante de sistema de riego por goteo fueron encontrados por [Ramos et al. \(2023\)](#) en casas de cultivo, lo que influyó en bajos caudales también.

La mayoría de los trabajos desarrollados en Cuba sobre régimen de riego aplican como parámetro crítico para la ejecución del mismo, el concepto del límite productivo (Lp), definido como un porcentaje del valor de la humedad correspondiente a la capacidad de campo, (Cc). Trabajos

más recientes introducen el parámetro de Límite Superior de Agua Disponible (LSAD) determinado a partir del valor de (Cc) como criterio para el valor máximo de la lámina de agua disponible en el suelo para las plantas ([López, 2008](#); [Cid, 2012](#)). En este sentido se define, que el valor del Lp igual al 85% del LSAD es el más recomendado para la mayoría de los cultivos agrícolas de interés económico en suelos Ferralíticos Rojos compactado, ([Chaterlán et al., 2015](#)).

En la [Figura 3](#), se muestra el comportamiento de humedad en valores de tensión (kPa), durante todo el periodo estudiado. Como se puede observar el régimen de riego aplicado más las precipitaciones permitieron que la humedad en el suelo no sobrepasara el 85% del Lp que corresponde este a -20 kPa. Según plantea el [Ministerio de Agricultura \(2019\)](#) para este cultivo, la humedad debe mantenerse por encima del 85 % de la capacidad de campo hasta que comience el periodo de la maduración del fruto. [Feres & Soriano \(2007\)](#), recomiendan para el riego localizado en las hortalizas, que el agua no sobrepase tensiones de -20 kPa. Como se puede observar la reserva de humedad antes del riego fue encontrada por encima del límite productivo, debido a que el riego se aplicó en días alternos según la demanda del cultivo, no se observaron síntomas de estrés hídrico en las plantas, por lo que en sentido general el cultivo se desarrolló sin limitaciones de agua.

Tabla 5. Evaluación hidráulica del sistema.

Indicadores	Riego por exudación	Riego por goteo
Presión media en el cabezal de riego. (bar)	1,3	1,3
Caudal medio. Exudación: (L/h/m). Goteo: (L/h)	10,0	1,0
Coeficiente de Uniformidad de los caudales (%)	80	88
Coeficiente de Uniformidad del sistema (%)	79	88

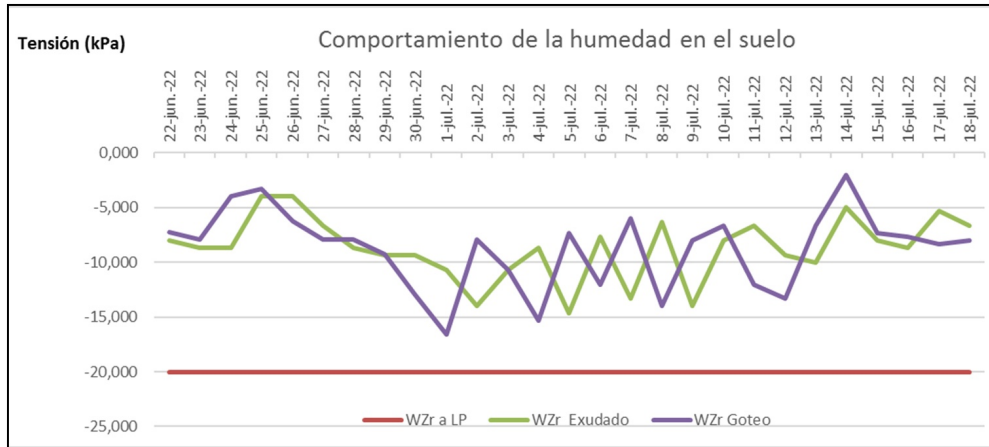


Figura 3. Comportamiento de humedad (W) en el suelo a la profundidad de la zona radical (Zr) de 30 cm utilizando ambos sistemas.

En relación con el rendimiento del melón de agua y sus componentes, la **Tabla 6** muestra el análisis comparativo de los tratamientos T1 (riego por exudación) y T2 (riego por goteo). Se observa que el largo medio del fruto fue significativamente mayor en T1 (29,97 cm) respecto a T2 (26,78 cm), con una diferencia estadística marcada ($p < 0,05$). En contraste, el diámetro, el peso promedio y el rendimiento estimado no presentaron diferencias significativas entre ambos sistemas. No obstante, el rendimiento estimado resultó ligeramente superior en T1 (28,6 t/ha) frente a T2 (27,71 t/ha). Este comportamiento puede explicarse por la dinámica de la humedad en el suelo. Según el gráfico de tensión de humedad, el riego por exudación (WZr Exudado) mantuvo valores más estables y menos extremos de tensión (entre -5 y -15 kPa), esta estabilidad en T1 probablemente favoreció un crecimiento más uniforme y prolongado del fruto.

Este comportamiento coincide con lo planteado por **Gan et al. (2013)**, quienes destacan que la aplicación continua de agua a lo largo de la cinta de exudación favorece una franja húmeda más homogénea evitando variaciones bruscas de humedad que pueden limitar el desarrollo de los frutos lo que resulta ventajoso para hortalizas en hileras, reduciendo la variabilidad espacial de la humedad y mejorando la absorción de nutrientes.

De forma complementaria, **Sun et al. (2023)** comparan ambos sistemas y concluye que el goteo, aunque eficiente en el uso del agua, tiende a generar oscilaciones de humedad más pronunciadas, lo que repercute en la uniformidad

del desarrollo. Asimismo, se ha señalado que el riego localizado incrementa el rendimiento del cultivo debido, en parte, al régimen hídrico frecuente y constante al que se somete el volumen radicular, lo cual, según **Neeraja et al. (2001)**, favorece la solubilización, absorción y translocación de los nutrientes aplicados como fertilizantes. En la misma línea, **Pier & Doerge (1995)** en sandía, **Thompson et al. (2002)** en brócoli y **Cui et al. (2019)** en tomate, reportaron resultados semejantes, confirmando que la estabilidad de la humedad en el suelo bajo sistemas de riego localizado contribuye a mejorar la eficiencia en la nutrición y el rendimiento de los cultivos.

En la **Tabla 7** se puede observar la relación productiva existente entre el rendimiento del cultivo y el agua total aplicada por el riego y las precipitaciones, con la utilización del riego por exudación se logró producir 5,8 kg por cada m^3 de agua aplicado, ligeramente superior al goteo.

Similares resultados fueron obtenidos por **Martínez et al., (2015)** al encontrar mayor productividad del riego por exudación en comparación al riego por goteo por lo que sería la alternativa que ofrezca mayor beneficio social entre los dos sistemas. En el caso del riego por goteo por cada m^3 de agua aplicado se logra producir 5,7 kg pese a que ambos sistemas entregaron al cultivo la misma lámina de riego.

Estudios recientes realizados por **Zhou et al. (2023)** evidencian que el riego por goteo con acolchado puede alcanzar valores de productividad agronómica del agua entre 5.5 y 6.2 kg/m^3 , resultados que se asemejan a los obtenidos en el presente trabajo.

Tabla 6. Rendimiento y sus componentes mediante el uso de ambos sistemas de riego

Tratamiento	Rendimiento y sus componentes			
	Largo medio del fruto (cm)	Diámetro medio de los frutos (cm)	Peso promedio de los frutos (g)	Rendimiento estimado (t/ha)
T1	29,97 a	13,02	2728,14	28,6
T2	26,78 b	12,83	2709,98	27,71
Sig	*	NS	NS	NS
Error Estándar	0,5503	0,1624	0,8762	0,8100
Coefficiente de variación (%)	10,9710	7,1093	18,2305	15,2217

Sig*: Significativo. NS: No significativo. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos para $p \leq 0,05$ según la prueba de rangos múltiples de Tukey

Tabla 7. Productividad del agua

Técnica de riego	Rendimiento estimado (kg/ha)	Cantidad de agua recibida por el cultivo (m ³ /ha)	Productividad del agua (kg/m ³)
Exudación	28600	4850	5,8
Goteo	27710	4850	5,7

Asimismo, se demostró que la aireación aplicada en el sistema de goteo mejora tanto la productividad del agua como la calidad del fruto, lo que sugiere que la ventaja relativa de cada técnica depende más de ajustes técnicos complementarios que del método básico en sí. Ambos sistemas muestran una alta eficiencia, y las diferencias entre ellos tienden a reducirse cuando se aplican volúmenes de riego similares; en este contexto, factores adicionales como el acolchado, la fertirrigación y la aireación son los que generan las mejoras más significativas en la productividad del agua.

Aunque el coeficiente de uniformidad en el sistema de exudación fue inferior al determinado en el sistema de goteo, la productividad del agua resultó ligeramente superior, lo cual puede justificarse por la redistribución de la humedad a través del perfil del suelo, tanto en sentido horizontal como vertical, debido a la acción combinada de la matriz del suelo y la gravedad. En trabajos realizados por Salcedo *et al.*, (2005) y Cun *et al.* (2015) podemos encontrar que la aplicación no uniforme del agua al suelo crea gradientes de tensión que provocan un movimiento del agua desde los puntos de menor tensión a los de mayor, por tanto, hay una redistribución de la humedad mejorando su uniformidad.

CONCLUSIONES

- El sistema de riego por goteo mostró una mayor uniformidad (88%, clasificado como bueno), mientras que el riego por exudación presentó valores aceptables pero inferiores.
- El régimen de riego aplicado, complementado por las precipitaciones, mantuvo la humedad del suelo dentro de los rangos óptimos establecidos (-20 kPa), evitando el estrés hídrico y garantizando un desarrollo adecuado del cultivo de melón sin limitaciones hídricas.
- El riego por exudación mostró una ligera ventaja agronómica sobre el riego por goteo, evidenciada en la mayor longitud media del fruto y un rendimiento estimado superior en un 3%, lo que sugiere una mejor respuesta y efecto positivo en la conformación de los frutos.
- El riego por exudación alcanzó una productividad del agua (5,8 kg/m³) ligeramente superior respecto al goteo (5,7 kg/m³), lo que evidencia que ambos sistemas son altamente eficientes y pueden ser utilizados en el riego del melón de agua.
- Los resultados sugieren la necesidad de evaluar estos sistemas en diferentes condiciones edafoclimáticas y cultivos, así como analizar su desempeño bajo escenarios de variabilidad climática para fortalecer la sostenibilidad del riego agrícola.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, R. G. (2006). Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos (Vol. 56). Food & Agriculture Org. (FAO).
- Casado, E., & Sirgado, L. (2015). Ensayos y caracterización hidráulica de tuberías porosas para riego. ISBN: 84-9048-374-4, Publisher: Editorial Universitat Politècnica de València.
- Chaterlán, Y., Duarte, C., Rosa, R., López, T., & Pereira, L. (2015). Estimation the water needs of some vegetables using the methodology of dual cultural coefficients. *Ingeniería Agrícola*, 5(1), 21-26, ISSN: 2227-8761.
- Cid, G., López, T., González, F., Herrera, J., & Ruiz, M. E. (2012). Características físicas que definen el comportamiento hidráulico de algunos suelos de Cuba. *Revista Ingeniería Agrícola*, 2(2), 25-31, ISSN: 2306-1545, E-ISSN: 2227-8761.
- Cui, J., Shao, G., Lu, J., Keabetswe, L., & Hoogenboom, G. (2019). Yield, quality and drought sensitivity of tomato to water deficit during different growth stages. *Scientia agrícola*, 77, e20180390. <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2018-0390>
- Cun, R., Puig, O., & Morales, C. (2009). Comportamiento del coeficiente de uniformidad del riego por microaspersión en condiciones de organopónicos y huerto intensivo. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18(3), 35-39, ISSN: 1010-2760.
- Cun, R., Reinaldo, M., & Aguilera, J. (2015). Evaluación de la aplicación del riego mediante microjets a diferentes alturas en condiciones de organopónico. *Agrotecnia de Cuba*, 39(4), 22-30, ISSN: 2414-4673.
- Duarte, C. E., Valdés, P. J., Herrera, J., & Zamora, E. (2018). Predicción de normas netas de riego del frijol común en la zona occidental de Cuba. *Ingeniería Agrícola*, 8(2), 41-47.
- Gan, Y., Siddique, K. H., Turner, N. C., Li, X.-G., Niu, J.-Y., Yang, C., Liu, L., & Chai, Q. (2013). Ridge-furrow mulching systems-An innovative technique for boosting crop productivity in semiarid rain-fed environments. *Advances in agronomy*, 118, 429-476, ISSN: 0065-2113.
- González, F., López, T., & Herrera, J. (2015). Indicadores de productividad del agua por cultivos y técnicas de riego en Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(4), 57-63, ISSN: 2071-0054.
- Herrera-Puebla, J., González-Robaina, F., Sarmiento-García, O., Cun-González, R., Chaterlán-Durruthy, Y., & Cisneros-Zayas, E. (2024). Coeficiente del tanque evaporímetro Clase A para estimar la evapotranspiración de referencia en la provincia Artemisa. *Ingeniería Agrícola*, 14(1), 1-12, ISSN: 2306-1545.

- Kumar, A., Pandey, S. S., Kumar, D., & Tripathi, B. N. (2023). Genetic manipulation of photosynthesis to enhance crop productivity under changing environmental conditions. *Photosynthesis Research*, 155(1), 1-21, 0166-8595. <https://doi.org/10.1007/s11120-022-00977-w>
- Liu, H., Li, H., Ning, H., Zhang, X., Li, S., Pang, J., Wang, G., & Sun, J. (2019). Optimizing irrigation frequency and amount to balance yield, fruit quality and water use efficiency of greenhouse tomato. *Agricultural Water Management*, 226, 105787, ISSN: 0378-3774. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105787>
- López, T., Duarte, C., González, F., & Cid, G. (2008). Actualización de propiedades físicas e hidrodinámicas para un sustrato en condiciones de organopónico. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 17(3), 1-5, ISSN: 1010-2760.
- Martínez, A., Luna Jiménez, A. L., & Milián Vicente, B. A. (2015). Evaluación del sistema de riego por exudación como alternativa para el desarrollo agropecuario sustentable. *Ingeniería Agronómica. Segundo Coloquio Desarrollo Agropecuario Sustentable*
- Merriam, J. L., & Keller, J. (1978). *Farm irrigation system evaluation: A guide for management*.
- Ministerio de la Agricultura. (2019). *Instructivo Técnico del Cultivo del Melón, Pepino y Calabaza*. Dirección de la Agricultura, La Habana, Cuba.
- Ministerio de la Agricultura. (2018). *Política para la mecanización, el riego, el drenaje agrícola y el abasto de agua a los animales*, Ministerio de la Agricultura, La Habana, Cuba.
- Mohamed, Y., Bakheit, M. A., & Widaa, A. (2012). Effect of Irrigation Water Management on Growth of Date Palm offshoots (*Phoenix dactylifera*) under the River Nile State Conditions. *U. of K. J. Agric. Sci.* 20(3), 275-285.
- Morales, D. M., Hernández J. A., Borges, B. Y., Morell P. F., Calderón V. M., & Rodríguez M. J. (2010). Características de tres perfiles de suelo Ferralítico rojo lixiviado en condiciones naturales bajo bosque. *Revista Agrotecnia de Cuba*, 34(1), 11-20.
- Nadal, M., & Flexas, J. (2019). Variation in photosynthetic characteristics with growth form in a water-limited scenario: Implications for assimilation rates and water use efficiency in crops. *Agric. Water Manage.* 216, 457-472. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.09.024>.
- NC 15097. (2007). *Técnicas de riego. Riego localizado. Evaluación hidráulica*. [Noma cubana]. Oficina Nacional de Normalización, La Habana, Cuba.
- Neeraja, G., K. Malla, M., Reddy Y. V., & Praveen, R. (2001). Influence of irrigation and nitrogen levels on bulb yield, nutrient uptake and nitrogen use efficiencies in rabi onion (*Allium cepa*). *Indian J. Agric. Sci.* 71: 109-112.
- Pérez, J., Sánchez, I., Mendoza, F., Inzunza, M., & Cueto, W. J. (2003). Productividad y rendimiento de sandía por efecto del agua en diferentes condiciones de manejo. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 9(1), 209-216.
- Pérez H. R., & Álvarez A. M. C. (2005). *Necesidades de riego de la caña de azúcar en Cuba*. Ed: Academia, 219pp. ISBN 959-270-065-6.
- Pier, J.W. & T.A. Doerge. (1995). Nitrogen and water interactions in trickle-irrigated watermelon. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59: 145-150.
- Ramos, T., Cun, R., & Duarte, C. (2023). Evaluación técnica del riego localizado en una casa de cultivo de Santiago de Cuba. *Ingeniería Agrícola*, 13(1). ISSN-2306-1545, E-ISSN-2227-8761,
- Rodríguez, A., Companioni, N., Freesneda, B., & Cañet, F. (2011). *Manual Técnico para organopónicos, Huertos Intensivos y organoponía semiprotegida*. Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical (INIFAT), La Habana, Cuba. ISBN: 978-959-72-10-48-1.
- Rodríguez, M., Pérez, L., & Gómez, J. (2019). Evaluación del riego en sandía bajo condiciones climáticas variables en el Caribe. *Revista Cubana de Agricultura*, 53(2), 45-52.
- Salcedo, F. R., Barrios, M., & Moraima. (2005). Distribución de agua en un sistema de microaspersión sobre un ultisol cultivado con Lima Tahití en el estado Monagas, Venezuela, *Revista UDO Agrícola*, 5(1): 88-95.
- Silva, I. R., Novais, R. F., & Barros, N. F. (2018). Phosphorus availability and management in highly weathered tropical soils. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 42, e017001. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20170001>.
- Sun, L., Li, B., Yao, M., Niu, D., Gao, M., Mao, L., et al. (2023). Optimising water and nitrogen management for greenhouse tomatoes in Northeast China using EWM TOPSIS-AISM model. *Agric. Water Manage.* 290, 108579. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108579>.
- Sun, Q., Zhang, H., Li, X., Zhao, Z., Li, Z., Zhang, P., Liu, S., Jiang, W., & Sun, X. (2023). Effects of drip tape layout and flow rate on water and nitrogen distributions within the root zone and summer maize yield in sandy tidal soil. *Agronomy*, 13(11), 2689. <https://doi.org/10.3390/agronomy13112689>
- Thompson, T. L., & Doerge, T. A. (1995). Nitrogen and water rates for subsurface trickle-irrigated romaine lettuce. *HortScience* 30: 1233-1237.
- Thompson, T. L., & Godin, R.E. (2002). Subsurface drip irrigation and fertigation of broccoli. I. Yield, quality, and nitrogen uptake. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 186-192.
- Valdés, V. P. J. (2017). *Predicción de las normas netas del riego del cultivo de frijol común en la zona occidental de Cuba*. Trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero Agrícola. San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba,
- Zhou, Y., He, J., Liu, Y., Liu, H., Wang, T., Liu, Y., Chen, W., Muhammad, T., & Li, Y. (2023). Aerated drip irrigation improves watermelon yield, quality, water and fertilizer use efficiency. *Irrigation Science*, 41(3), 739-748. <https://doi.org/10.1007/s00271-023-00853-y>.