

RIEGO Y DRENAJE

ARTÍCULO ORIGINAL

Evaluación del riego localizado por goteo en condiciones de producción del sur de Güira de Melena

Evaluation of Drip Irrigation in Production Conditions of South of Güira de Melena

Dr.C. Enrique Cisneros-Zayas¹, Ing. Alianni Espinosa-Valdera¹, Dr.C. Teresa López-Seijas¹ y Jorge Yumar^{II}.

¹ Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Boyeros, La Habana. Cuba,

^{II} Finca "Santa Ana", Güira de Melena, Artemisa, Cuba.

RESUMEN. El presente trabajo tuvo como objetivo definir los parámetros de calidad del riego y explotación que aseguren la introducción adecuada del riego localizado por goteo en las condiciones de producción del municipio Güira de Melena, en la provincia Artemisa. El mismo se desarrolló en la finca "Santa Ana", al Sur del municipio, en un suelo Ferralítico Rojo compactado, donde la fuente de agua es subterránea (pozo) presentando restricciones para su uso en el regadío. El área en cuestión es de 1,16 ha, plantadas de uva, variedad Aramond, bajo un sistema de riego localizado con emisores integrados del tipo STARCOMP 16/50; con caudal de 4 L h⁻¹ y espaciados a 0,50m. Para el estudio de uniformidad se seleccionó la subunidad con condiciones medias y se aplicó la NC EN 15097:2007, el estudio del bulbo húmedo se realizó tomando lecturas con una sonda TDR 300 en dos direcciones, a la profundidad de 0,10 m y 0,30 m, las cuales se convirtieron en humedad volumétrica y a lámina de agua disponible en el suelo. Los resultados permiten definir que el funcionamiento general del sistema de riego localizado se clasifica de ACEPTABLE, con un valor de coeficiente de uniformidad (CU) de 78,59% y el porcentaje del área humedecida es de 30% del área del marco de plantación. Las consideraciones dadas permiten la adopción del sistema de riego localizado en condiciones similares a las estudiadas.

Palabras claves: funcionamiento hidráulico, bulbo húmedo, área humedecida, agua disponible.

ABSTRACT. The main objective of this work was to define the irrigation quality and exploitation parameters for adequate introduction of a drip irrigation system in production conditions of Güira de Melena municipality in Artemisa province. The work was done in "Santa Ana" farm, of Cooperative "Frank País", in the South of this municipality. The soil is Ferralitic Red compacted where water subterranean source presents restrictions for irrigation use. The irrigation system area is about 1.16 ha, planted with grape, variety Aramond, with integrated drippers type STARCOMP 16/50; with caudal 4 L·h⁻¹, spaced to 0.50 m. For the study were selected the irrigation subunit with mean conditions and NC EN 15097:2007 was applied. For the wet bulb study were take measurements with an electromagnetic probe TDR 300 in two directions, at depth of 0,10 m and 0,30 m, that were converted to volumetric water content and available water in the soil. The results may define that general hydraulic behavior of the drip irrigation system is classified as Acceptable, with a uniformity coefficient value of 78.59 %, with a wet area percentage about 30 % of plantation area. The defined considerations allow the adoption of this type of irrigation system in similar conditions..

Keywords: hydraulic behavior, wet bulb, wet area, available water.

INTRODUCCIÓN

El riego localizado es la aplicación de agua al suelo, en una zona más o menos restringida del volumen radical del cultivo y constituyen un cambio en la forma de aplicar el agua (Rodrigo *et al.*, 1992; Burt, 2004; Mantovani *et al.*, 2009).

La rápida generalización de estos sistemas en el mundo se debe a sus grandes ventajas comparada con otras técnicas, como

son el ahorro de agua, la posibilidad de introducir fertilizantes disueltos en el agua y de conservar la alta aireación del suelo (Aidárov *et al.*, 1985). Con el riego por goteo es posible regar con gran frecuencia y reducir el volumen de suelo regado llegando a ser aproximadamente un 10-15% del volumen de suelo regado por otros métodos (Uri, 1999). Varios autores coinciden que, en

condiciones de escasez de agua, climas extremadamente secos y suelos arenosos, el riego por goteo ha dado resultados muy prometedores en comparación con los sistemas de riego por gravedad o aspersión. (Jeldres, 1996; Barrantes, 1997).

El municipio Güira de Melena se encuentra ubicado en una de las zonas más productivas del país y produce una parte importante de los alimentos que consumen los 2 millones de habitantes de la capital y de sus provincias aledañas (Basal, 2014), citado por (López *et al.*, 2016). Posee una gran parte de su área agrícola bajo infraestructura de riego, con cerca de 40 000 ha dedicadas fundamentalmente a los cultivos de viandas, hortaliza y granos, y donde predomina el riego superficial, el cual es un alto consumidor de agua y también de energía, porque en su mayoría se utiliza el bombeo de agua subterránea (Basal, 2014), citado por (López *et al.*, 2016).

Aunque se han introducido en los últimos años otras tecnologías de riego de mayor eficiencia, como son las máquinas de pivote central eléctricas, que ocupan hoy alrededor del 15% de la superficie bajo riego de este municipio, otras técnicas eficientes como el riego localizado, ha tenido muy poca o casi nula introducción en estas condiciones de producción.

Por otra parte este municipio, al situarse en un acuífero costero abierto al mar está afectado por el fenómeno de la intrusión salina que afecta ya la calidad del agua para el riego fundamentalmente en la zona sur, lo cual dificulta o invalida la aplicación del riego por encima del follaje para la mayoría de los cultivos varios. En este sentido se requiere de la introducción de otras tecnologías que sean más eficientes en el uso del agua y que contribuyan a minimizar los efectos de la salinidad en el agua disponible para el riego.

El presente trabajo se traza como objetivo definir los parámetros de calidad del riego y explotación que aseguren la introducción adecuada del riego localizado por goteo en las condiciones de producción del municipio Güira de Melena, contribuyendo a una mayor eficiencia del uso del agua para el riego y minimizar los efectos negativos de la salinidad.

MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en la finca “Santa Ana”, la que pertenece a la CCS “Frank País” ubicada al Sur del municipio Güira de Melena, provincia Artemisa. Las coordenadas geográficas Cuba Norte son 22 43 de Latitud Norte y 8227 de Longitud Oeste, a seis metros sobre el nivel del mar.

La finca posee una superficie bruta de 1,22 hectáreas, de ellas 1,16 ha están plantadas de uva (*Vitis vinifera* L.), variedad Aramond, con un marco de plantación de 1,30 x 2,0 m, el cultivo tiene 20 años de edad. Plantada sobre un suelo Ferralítico Rojo, subtipo compactado, según segunda clasificación genética de los suelos de Cuba (Hernández *et al.*, 1975, 1999, 2005), que se corresponde con un Ferralítico Rojo compactado hidratado según Hernández *et al.* (2003, citado por (Cid, 2011).

Para la clasificación del agua en la finca se tomó una muestra de la fuente de agua subterránea (pozo), donde el valor de Conductividad Eléctrica es de 1,84 dS/m y el pH de 7,3 a la

temperatura de 31 °C. Según la clasificación de Ayers y Westcot (1976), la calidad del agua de riego presenta un índice de salinidad 2, con problemas crecientes, por lo que tiene restricciones para su uso en el regadío.

El área se encuentra bajo riego localizado superficial con emisor integrado autocompensante, antisucción y autolimpiante del tipo STARCOMP 16/50; con caudal de 4 L·h⁻¹. En todos los campos el lateral es alimentado por el extremo y uno por hilera de plantas, con emisores espaciados a 0,50m, con un caudal máximo requerido por el sistema de 1,17 L·s⁻¹.

Estudio del Coeficiente de uniformidad

Para el estudio del estado de funcionamiento del sistema de riego localizado se utilizó la metodología propuesta por la Norma Cubana NC EN 15097: 2012 (Oficina Nacional de Normalización, 2012). “Técnicas de riego. Riego localizado. Evaluación Hidráulica”.

A partir de la información obtenida se calcula la uniformidad de emisión de la subunidad verificando (CU) mediante la expresión 1:

$$CU (\%) = \frac{q_{25\%}}{\bar{q}} \times 100 \quad (1)$$

donde:

$q_{25\%}$ es la media de los caudales del percentil 25 de goteros, en L/h;

\bar{q} el caudal medio de los goteros del bloque de riego ensayado, en L/h.

Para la clasificación del estado de funcionamiento del sistema de riego se utilizó la propuesta por Christiansen (1942), citado por (Rodrigo *et al.*, 1992).

Clasificación	Coeficiente de uniformidad (CU)
Excelente	90 - 100
Bueno	80 - 90
Aceptable	70 - 80
Inaceptable	70

Para el estudio del comportamiento de la franja húmeda se tomaron lecturas con la sonda en dos direcciones, una en sentido del lateral a equidistancia de 0,10 m y otra en dirección perpendicular al emisor para conocer el ancho de la banda a la misma equidistancia. En la figura se muestra un esquema con la ubicación del sentido en el que se realizaron las mediciones.

Las lecturas para el registro de la humedad se realizaron con la sonda electromagnética TDR -300 del tipo Spectrum Technologies¹ a la profundidad de 0,10 m y 0,30 m, utilizando la ecuación de calibración específica para este sitio determinada por (López, 2017), que permite convertir los valores de período $p(\mu\text{s})$ a valores de humedad volumétrica Wv (%Vol.) según la expresión: $Wv = 0,0272p - 70,04$ con un valor de coeficiente de correlación de 0,84.

¹ Spectrum Technologies (2009) Manual del producto Sonda de medición de humedad TDR 300 FIELDSCOUT. 31pp.

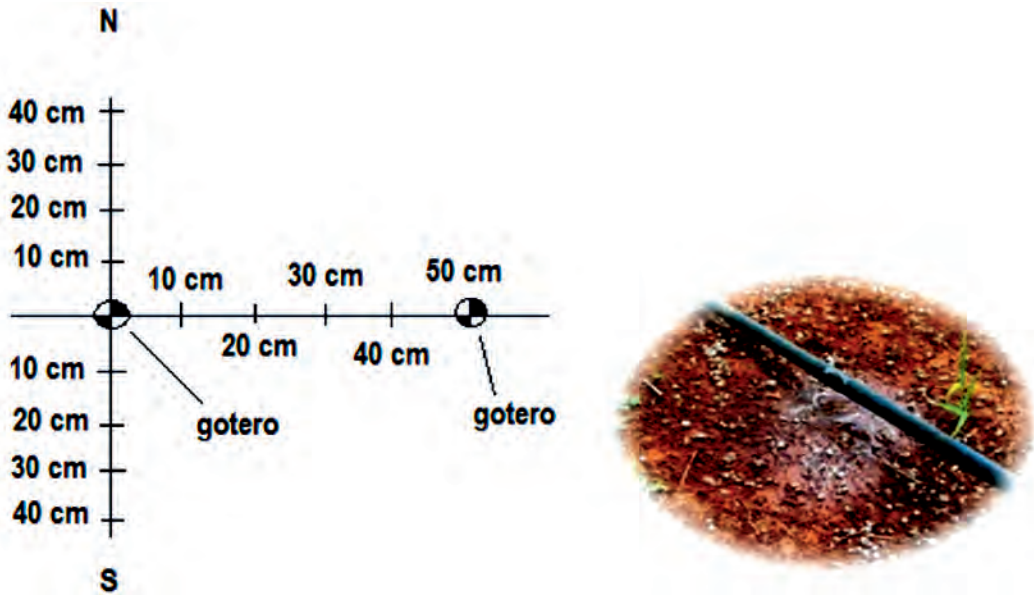


FIGURA 1. Esquema de las distancias desde el emisor y el sentido de los puntos donde se hicieron las mediciones de humedad para el estudio del bulbo húmedo.

Determinación del radio mojado (Rm) y porcentaje de área humedecida (Ah)

Las mediciones de humedad en el suelo se realizaron en dos momentos. La primera lectura con el suelo seco (sin regar). Después de aplicada la dosis de riego según proyecto de explotación que es de 3,6 L m⁻², con un tiempo de aplicación de 1 hora, se realizó el segundo muestreo.

La determinación del área humedecida por el gotero, se obtuvo a partir del levantamiento de los bulbos después de la aplicación de la dosis de riego de proyecto muestreando en superficie hasta 0,50 m de separación entre emisores y en profundidad hasta los 0,30 m con equidistancia de 0,10 m. El estudio se realizó a las 24 h de haber aplicado el riego para conocer el frente de avance de humedecimiento hasta la profundidad de muestreo. Para la confección de los gráficos de los bulbos húmedos se utilizó el (SURFER Golden Software Incorporated, 1994) y se delimitó el contorno del bulbo húmedo utilizando la isohídrica con valor de 35,0 % Vol., que representa el mayor valor de humedad natural del suelo obtenido antes de la aplicación del riego, según Nogueira (2000), citado por Almeida y Ferreira (2007).

El radio del bulbo húmedo se midió a partir del levantamiento de los mismos después de aplicar la dosis máxima. Posteriormente se determinó el radio mojado (Rm) a la profundidad de 0,30 m, según Keller y Karmeli (1974), con el que se determinó el área humedecida (Ah) según la expresión 2:

$$Ah = \frac{Am}{Amp} = \frac{Sp \times 2 Rm}{Sp \times Sh} \times 100 \quad (2)$$

donde:

Sp: separación entre plantas (m), Rm: radio mojado (m);
Sh: separación entre hileras (m), Amp: área marco de plantación (m²).

Determinación del volumen de suelo humedecido

El volumen de suelo humedecido se determinó mediante la expresión (3).

$$V = \frac{\pi}{12} d^2 \left[2z + h - \frac{h^3}{(z-h^2)} \right] \dots \quad (3)$$

siendo:

- d: máximo valor de diámetro del bulbo formado;
- h: profundidad a la que se midió ese máximo valor de diámetro;
- z: Profundidad máxima del bulbo húmedo.

Determinación del agua disponible en el suelo dentro del bulbo húmedo.

Para la determinación del agua disponible en el perfil del suelo se convirtió la humedad volumétrica de cada uno de los puntos del bulbo húmedo en agua disponible en el suelo, utilizando la expresión 4, según (Nogueira *et al.*, 2000):

$$AD' = \left(\frac{\theta - \theta_{pmp}}{\theta_{cc} - \theta_{pmp}} \right) * 100 \dots \quad (4)$$

siendo:

- AD: Porcentaje de agua disponible en el perfil del suelo (%);
- θ: Humedad de suelo obtenida por el TDR (m³ m⁻³);
- θ_{cc}: Límite superior de la reserva fácilmente utilizable (Cc) (m³ m⁻³);
- θ_{pmp}: Punto de marchites permanente (m³ m⁻³).

Con estos valores se construyeron los mapas correspondientes de agua disponible en el suelo, considerando como límite crítico de agua disponible (la reducción permisible de humedad a partir del límite superior de disponibilidad o capacidad de campo) de 10%.

Con el valor de volumen de suelo humedecido por un emisor se puede determinar el volumen de raíces que es necesario mojar y cuántos emisores se necesitan por planta.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados de las pruebas de campo del funcionamiento hidráulico del sistema de riego localizado

Estudio del coeficiente de uniformidad (CU)

El estudio del funcionamiento del sistema de riego localizado en la finca Santa Ana, se realizó siguiendo lo establecido en el proyecto técnico, donde el área se encuentra dividida en tres sectores de riego.

Sub unidad 1

De la evaluación de campo se obtuvo que los valores de caudal de los emisores estuvieron en el rango de 4,56 y 2,28 L h⁻¹, como se observa existe una amplia variación de caudales lo que incide directamente en el valor del coeficiente de uniformidad obtenido de 76,39%, según la clasificación de (Rodrigo *et al.*, 1992), el sector está trabajando Aceptable.

Aunque la sub unidad está trabajando normal, es inaceptable este valor de (CU) para estos sistemas de riego localizado si se tiene en cuenta que el mismo interviene en el cálculo de las necesidades de riego y por tanto influye en los tiempos de riego.

Sub unidad 2

En el caso del sector de riego 2, los caudales de entrega son más estables en los laterales y emisores ubicados al inicio, 1/3 y 2/3, no así al final donde los caudales de entrega son bajos, del recorrido efectuado al sistema se pudo comprobar que existe una fuga de agua lo que influye en el valor de coeficiente de uniformidad (CU) obtenido de 79,73%. Este valor de coeficiente de uniformidad (CU) clasifica el funcionamiento del sistema como Aceptable.

Del análisis se puede comprobar la importancia que tiene que el caudal de entrega del emisor esté lo más próximo posible al caudal nominal, pues como se observa los caudales más bajos 2,22 y 2,52 L h⁻¹ están interviniendo en el bajo coeficiente de uniformidad, por los argumentos anteriores.

Sub unidad 3

Entre los factores que pueden estar afectando el valor del coeficiente de uniformidad (CU) están los constructivos, los cuales se asocian al coeficiente de variación de fabricación que provoca la dispersión entre los valores de caudal descargado (Rodríguez, 2017).

Los caudales descargados por los emisores en esta subunidad, alcanza el valor más alto de 4,52 L h⁻¹ y más bajo de 2,46 L h⁻¹, en esta sub unidad de riego el coeficiente de uniformidad es de 79,65%, por lo que según la clasificación de (Rodrigo *et al.*, 1992), se encuentra funcionando igual que los anteriores de manera Aceptable.

En una evaluación de campo realizada por (Antúnez *et al.*, 2010), plantean que aunque los valores del coeficiente de uniformidad (CU) obtenidos por ellos, está dentro de los márgenes aceptable en todos los casos, se debe prestar especial

atención a los caudales descargados, presiones existentes en los laterales de riego, presión de trabajo de los emisores y tipo de emisores (convencionales o autocompensados), cosa esta que se corresponde con lo encontrado en nuestro estudio, por lo que debemos tener en cuenta dichos elementos.

En sentido general cuando clasificamos el funcionamiento del sistema de riego localizado en la Finca “Santa Ana” podemos afirmar que el mismo está funcionando de manera Aceptable según la clasificación de (Rodrigo *et al.*, 1992) y el valor promedio del coeficiente de uniformidad CU (78,59%) obtenido (Figura 2)

A medida que el valor del coeficiente de uniformidad (CU) disminuye existe un mayor por ciento del área que recibe más agua de la necesaria, lo que no contribuye al uso eficiente de la misma, elemento a tener en cuenta para la zona de estudio si se conoce que la disponibilidad es limitada por el grado de deterioro que tiene la misma (elevados valores de Conductividad Eléctrica).

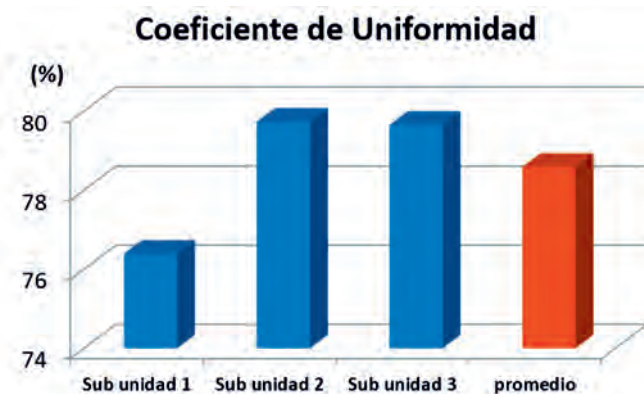


FIGURA 2. Valores de coeficiente de uniformidad (CU) por sectores de riego y promedio de la finca “Santa Ana”.

Existen otros elementos a tener en cuenta en la baja uniformidad del sistema de riego que según Pizarro (1996) pueden ser: fugas en la red, obstrucción parcial de los emisores, aplastamiento en una tubería, si la diferencia de caudal es a partir de un punto.

Otro elemento no menos importante es la diferencia de temperatura, que según (Rodrigo *et al.*, 1992), la sensibilidad de la temperatura es grande en los emisores de largo conducto, aumentando con la presión interior y su sección de paso del agua. Otros autores como Talens, (2009) y Sourell y Eberhard (2009) plantean que en emisores compensantes el aumento de la temperatura disminuye la viscosidad cinemática del agua y aumenta el número de Reynolds. En consecuencia, disminuye el coeficiente de Darcy- Weisbach y aumenta el caudal del emisor.

Resultados de la determinación de parámetros agronómicos

Control de humedad dentro del bulbo antes del riego

Al efectuar el muestreo antes del riego la humedad se encontraba entre el 32 y 64% del Límite Superior de Agua Disponible hasta la profundidad de 0,30 m, lo que indica que para el suelo Ferralítico Rojo compactado con un buen drenaje interno

la humedad desciende con rapidez en los primeros centímetros, elemento a tener en cuenta para la explotación del sistema de riego ya que prácticamente el suelo se encuentra seco.

Control de la humedad dentro del bulbo 24 horas después del riego

En la Figura 3, observamos la variación del contenido de humedad en el perfil de suelo entre los emisores evaluados,

donde se tienen valores muy próximos al Límite Superior de Agua Disponible en los primeros centímetros, hasta valores del 95% de este límite a la profundidad de 0,20 m. Cuando analizamos la isohídrica que representa el 90% LSAD (35,5) esta se encuentra próxima a los 0,30 m de profundidad de humedecimiento deseada.

Del estudio se puede afirmar que con la separación entre emisores se logra una banda continua de humedecimiento, lo que garantiza el correcto funcionamiento del sistema de riego.

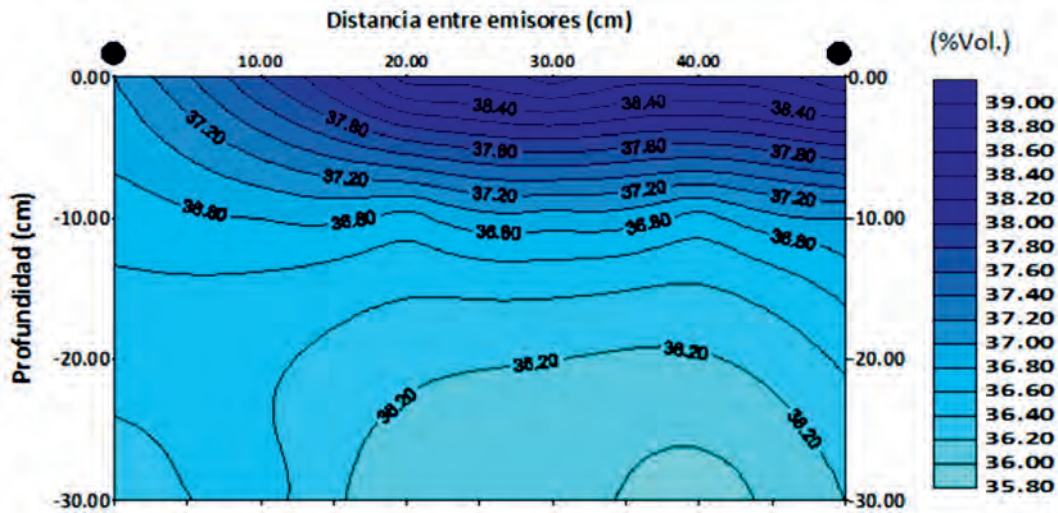


FIGURA 3. Comportamiento de las isohídricas después del riego hasta la profundidad de 0,30m entre emisores en el sistema de riego localizado Finca “Santa Ana”.

El desarrollo del bulbo húmedo a las 24 h de cesar el riego se presenta en la Figura 4, puede apreciarse claramente la conformación del bulbo donde la humedad volumétrica en el suelo es alta, alcanzándose valores a la profundidad de 0,30m de 35,5 %Vol., que representa el 90% del valor máximo de retención de agua, teniendo en cuenta que para este tipo de suelo el Límite Superior de Agua Disponible es de 39,4%Vol., como promedio hasta la profundidad de estudio. Esta isohídrica, la que corresponde con el 35,5 %Vol., es la que se utilizó para el estudio del frente de avance del bulbo si se tiene en cuenta que la frecuencia de riego según proyecto es diaria. Otros autores han señalado que en los sistemas de riego localizado el contenido de humedad va de saturación en la cercanía del emisor a contenidos de humedad muy bajos en las zonas no humedecidas por el emisor (García, 2002).

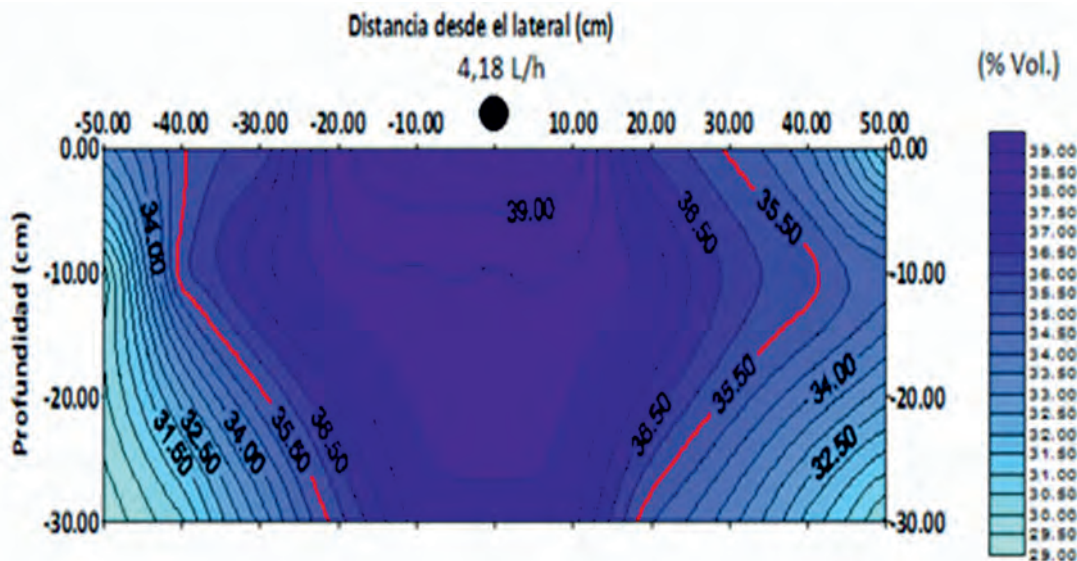


FIGURA 4. Desarrollo del bulbo húmedo 24 h después del riego con emisor de 4,18 L h⁻¹, perpendicular al lateral (N-S) en el sistema de riego localizado Finca “Santa Ana”.

Del análisis se puede confirmar que para los emisores con caudales de descarga igual a $4,0 \text{ L h}^{-1}$ o próximos a estos, garantizan la profundidad de humedecimiento y el contenido de humedad en el suelo para el buen desarrollo del cultivo, sin que se produzcan grandes pérdidas por percolación profunda.

Para conocer la influencia del coeficiente de uniformidad (CU) en las necesidades de riego se llevó a cabo un muestreo debajo de un emisor cuyo caudal de entrega según la evaluación

es de $2,2 \text{ L h}^{-1}$, como se puede observar en la Figura 5, el desarrollo del bulbo húmedo es pobre, donde a las 24 horas después del riego la isohídrica del 35% Vol., solo alcanzó la profundidad aproximada de 0,15 m y el valor del Límite Superior de Agua Disponible solo se aprecia en los primeros 0,10 m, lo que indica que 24 horas después del riego el frente del bulbo húmedo no ha alcanzado la profundidad de humedecimiento deseada por lo que se debe aumentar el tiempo de riego.

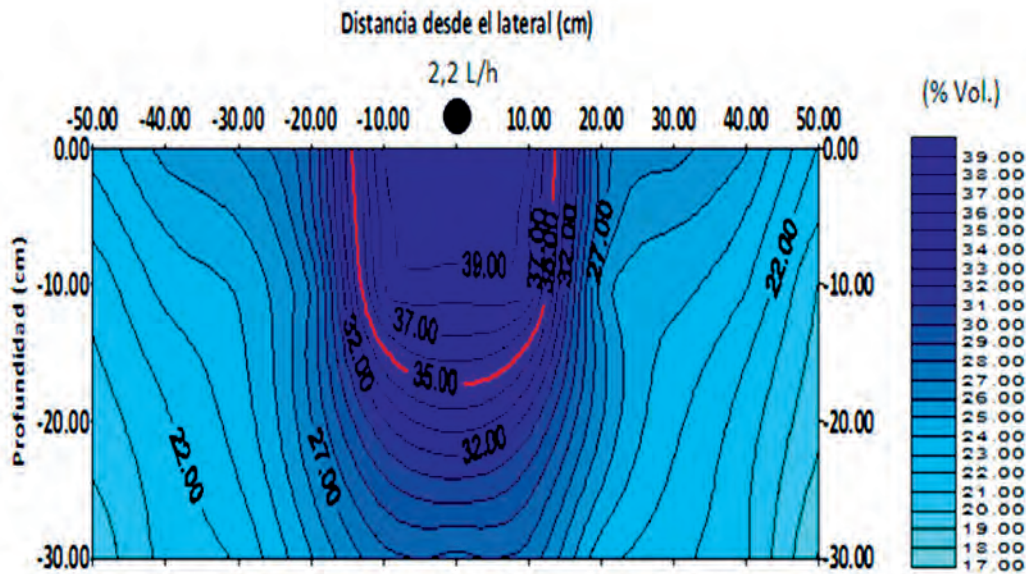


FIGURA 5. Desarrollo del bulbo húmedo 24 h después del riego con emisor de $2,2 \text{ L h}^{-1}$ en el sistema de riego localizado Finca “Santa Ana”.

Realizando el mismo análisis para un emisor con un caudal de $4,5 \text{ L h}^{-1}$, en la Figura 6, se puede constatar que 24 horas después del riego el valor del 90 % Vol. del Límite Superior de Agua Disponible en el suelo se encuentra por debajo de los 0,30 m; lo que nos indica que para esta situación existe un movimiento de agua en profundidad por debajo de la zona de interés por lo que se puede afirmar que hay pérdidas por percolación profunda. Este comportamiento puede estar asociado a las propiedades hidráulicas del suelo en estudio, donde para altos contenidos de humedad se tienen altos valores de conductividad hidráulica, como ha sido señalado por otros autores (Cid, 2011; Rodríguez y López, 2014; López *et al.*, 2016).

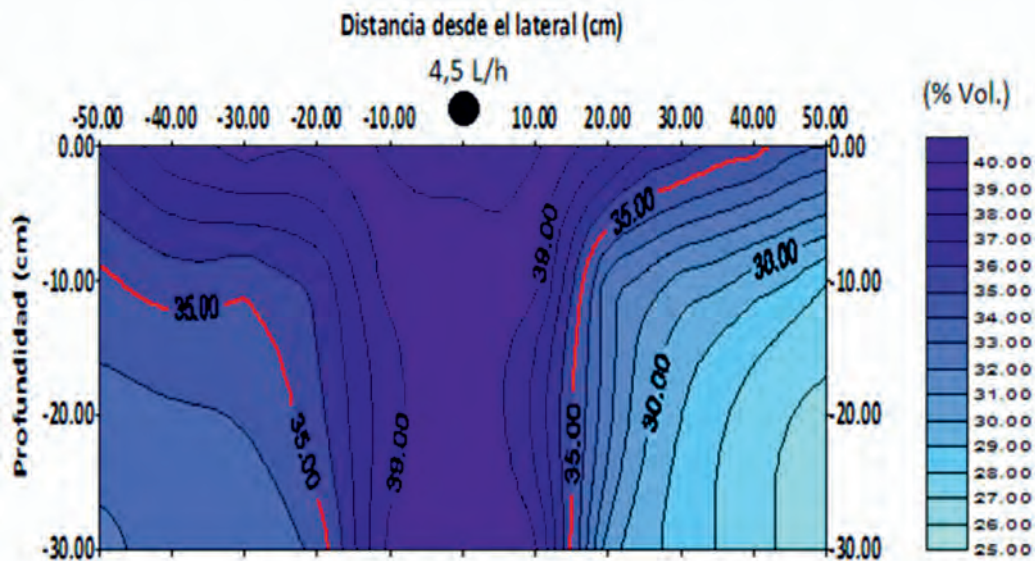


FIGURA 6. Desarrollo del bulbo húmedo 24 h después del riego con emisor de $4,5 \text{ L h}^{-1}$ en el sistema de riego localizado Finca “Santa Ana”.

Determinación del radio mojado y el porcentaje de área humedecida

El área mojada y el volumen de suelo humedecido en riego por goteo están determinados por las características físicas de los horizontes del perfil, la dosis aplicada, el caudal del emisor, la frecuencia de riego y la topografía del terreno, sin embargo, aún no existen modelos suficientemente precisos que permitan estimar adecuadamente la forma y el tamaño del bulbo en función de las condiciones de suelo y de manejo del agua, resultando obligadamente la realización de pruebas de campo para el diseño (Vermeiren y Jobling, 1980; Keller y Bliesner, 1990; Marín, 2001; Elmaloglou y Diamantopoulos, 2007). Merriam y Keller (1978), estandarizan a 0,30 m la profundidad a que debe medirse el área mojada, pero según la profundidad de raíces de cada cultivo puede disminuirse hasta 0,15 m.

En este caso el radio mojado fue medida a la profundidad de 0,20 m, después de aplicada la dosis de riego, resultando ser para las características de suelo de 0,30 m con el cual se determinó el porcentaje del área humedecida por el emisor. La misma resultó ser de 30% del área del marco de plantación de la uva.

Determinación del volumen de suelo humedecido

La elección del volumen de suelo necesario a humedecer es un elemento importante a tener en cuenta, según Pizarro (1996) y (Rodrigo *et al.*, 1992), altos volúmenes de suelo humedecido aumentan la seguridad del sistema, sobre todo en casos de avería de la instalación o de situaciones de extrema evapotranspiración ya que el mayor volumen de suelo explorado por raíces permite a éstas extraer más agua del suelo y resistir más tiempo. En cambio, al aumentar el volumen de suelo humedecido aumenta el costo de la instalación (más emisores por planta, mayores diámetros en la tubería, etc.)

El conocimiento del volumen húmedo de suelo mojado es de gran ayuda e importancia para el diseño de un sistema de riego por goteo, porque teniendo el volumen de raíces que se necesita humedecer de una planta y el volumen de suelo humedecido por un emisor, se puede determinar cuántos emisores por plantas necesitaríamos colocar.

Con el empleo de la ecuación (3) y conociendo los parámetros que intervienen en la misma, se pudo determinar que para el sistema de riego por goteo con emisores de 4 L h⁻¹ y tiempo de riego de una hora se humedece un volumen de 0,11 m³.

Cuando se determinó el volumen de suelo humedecido empleando la misma ecuación y teniendo en cuenta el diámetro humedecido según proyecto (Ds=1,1m), se tiene un valor de 0,37 m³.

Determinación del agua disponible en el suelo dentro del bulbo húmedo

De la figura 3 que aparece en el acápite “Control de la humedad dentro del bulbo 24 h después del riego”, se observa que el contenido de humedad dentro del mismo varió en el rango del 97% LSAD cerca del emisor hasta el 90% LSAD a la profundidad de 0,30 m.

La región del bulbo húmedo donde la absorción de agua por

las plantas puede ocurrir con mayor facilidad estaría enmarcada según (Loboa *et al.*, 2011) y (Rodríguez y Puig, 2012) dentro del volumen delimitado por la isohídrica del 50% de agua disponible, para nuestro caso la isohídrica (19,7).

Cuando se aplican volúmenes de agua de 4,18 L h⁻¹ (Figura 4), se obtiene valores considerables de agua fácilmente utilizable por las plantas en una amplia región del bulbo húmedo, lo que facilita su absorción y el de los nutrientes por las raíces. Esta región presenta una extensión horizontal de 0,35m como promedio y una profundidad hasta la zona muestreada de 0,30 m, donde se almacena una lámina de 11,7 mm; es importante señalar que esta lámina puede ser mayor si tenemos en cuenta que la isohídrica que representa el 90% LSAD (35,5) se encuentra por debajo de los 0,30 m. Resultados alcanzados por (Souza *et al.*, 2017), en suelo homogéneo, muestran valores de agua fácilmente utilizable por la planta a una profundidad de 0,40 m, estos autores consideran suficiente esta profundidad para el alcance habitual del agua y los nutrientes por las raíces más activas de los cultivos.

Principios para la adopción adecuada de la tecnología evaluada en condiciones similares a las de estudio

El sistema de riego localizado con goteros autocompensantes insertados, es una tecnología viable para satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos en esta zona, ya que permite manejar pequeñas dosis con alta frecuencia y disminuir de esta manera los volúmenes de extracción del acuífero subterráneo así como la utilización de agua con restricciones para su uso agrícola.

Para la correcta adopción del sistema de riego localizado hay que garantizar elevados valores del coeficiente de uniformidad del riego y para ello se recomienda realizar pruebas de campo frecuentes según el procedimiento descrito en este trabajo.

Se debe además, en función de los resultados de las pruebas de campo de uniformidad, hacer revisiones periódicas del funcionamiento de los goteros debido a la afectación por obstrucción que se produce por los altos valores de salinidad que presenta el agua de riego en este tipo de acuífero subterráneo sobre formación cálcica.

Por otra parte, dadas las características del funcionamiento hídrico de los suelos Ferralíticos Rojos se debe evaluar periódicamente la humedad del suelo antes y después del riego para adecuar, si es necesario, los tiempos de riego en función de minimizar las pérdidas de agua por debajo de la zona radical de interés para cada cultivo.

Por último, es necesario también para la adopción de este tipo de sistema evaluar en condiciones de campo el desarrollo del bulbo húmedo para la determinación del volumen real de suelo humedecido y no considerar este volumen solo a partir de lo definido en el proyecto técnico. Esta evaluación permitirá definir las reservas reales de agua que se pueden tener en el suelo ante una rotura o situaciones extremas de alta evapotranspiración y trazar estrategias de manejo del riego.

CONCLUSIONES

- La estimación de las necesidades de riego punta para las condiciones del área de estudio y el cultivo de la uva, permiten definir un valor máximo de 4,2 mm día⁻¹ frente a un valor de proyecto de 4,0 mm día⁻¹, lo que garantiza el correcto diseño agronómico del sistema de riego localizado introducido.
- El funcionamiento general del sistema de riego localizado en la Finca “Santa Ana” se clasifica de Aceptable, con un valor promedio de coeficiente de uniformidad (CU) de 78,59%.
- La relativa baja uniformidad del riego del sistema evaluado no está asociada a causas hidráulicas, sino a la baja uniformidad de los goteros, con variaciones de caudales en el rango de 2,2 a 4,5 L h⁻¹, lo que a su vez se puede atribuir a la obstrucción de los mismos por los altos contenidos de sales en el agua de riego que se tienen en esta zona.
- El porcentaje del área humedecida por el emisor evaluado es de 30% del área del marco de plantación de la uva y permite definir para el tiempo de riego de una hora un volumen de 0,11 m³ de agua almacenada hasta la profundidad de 0,30 m, lo que representa solamente el 30% del parámetro de diseño y una lámina almacenada de 11,7 mm.
- Las consideraciones dadas para la adopción del sistema de riego localizado en condiciones similares a las estudiadas ayudan a garantizar la correcta explotación del mismo, además permiten trazar estrategias de manejo del riego ante roturas o situaciones extremas de alta evapotranspiración.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIDÁROV, T.P.; GOLOVÁNOV, A.I.; MAMÁEV, M.G.: *El Riego*, Ed. Editorial Mir, Moscú, Rusia. URSS, 65-80 p., 1985.
- ALMEIDA, S.; FERREIRA, C.: “Distribucão da humidade num de solo irrigado por gotejamento superficial e subsuperficial”, *Ciencia Agrotecnica*, 31(4), 2007.
- ANTÚNEZ, A.; MORA, D.; FELMER, S.: “Eficiencia en sistemas de riego por goteo en el secano”, *INIA (Instituto de Investigaciones Agropecuarias-CL)*, 2010.
- AYERS, R.S.; WESTCOT, D.: *Calidad del agua para la agricultura*, Inst. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Rome, Italy, 1976.
- BARRANTES, A.: “Riego por goteo en caña de azúcar”, *Revista AQUA*, 13(1): 23-30, 1997, ISSN: 0716-7431.
- BURT, C.M.: “Rapid field evaluation of drip and microspray distribution uniformity”, *Irrigation and drainage systems*, 18(4): 275–297, 2004, ISSN: 1531-0353.
- CHRISTIANSEN, J.E.: *Irrigation by sprinkling*, 1942.
- CID, G.: “Características físicas que definen el comportamiento hidráulico de algunos suelos de Cuba”, *Revista Ingeniería Agrícola*, 2(2): 25–31, 2011, ISSN: 2227-8761.
- ELMALOGLU, S.; DIAMANTOPOULOS, E.: “Wetting front advance patterns and water losses by deep percolation under the root zone as influenced by pulsed drip irrigation”, *Agricultural water management*, 90(1-2): 160–163, 2007, ISSN: 1873-2283.
- GARCÍA, E.: *Sistema de riego por goteo*, no. 10, Inst. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria (CENTA), Boletín Técnico, Argentina, 2002.
- HERNÁNDEZ, A.; ASCANIO, M.O.; MORALES, M.; CABRERA, A.: “Correlación de la nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba con las clasificaciones internacionales y nacionales: una herramienta útil para la investigación, docencia y producción agropecuaria”, *La Habana: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA)*: 18–59, 2005.
- HERNÁNDEZ, A.; PÉREZ, J.; BOSCH, D.; RIVERO, L.; CAMACHO, E.: *Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba*, Ed. AGRINFOR, ed. L.L. Barcaz, vol. 1, La Habana, Cuba, 1999, ISBN: 959-246-022-1.
- HERNÁNDEZ, A.; PÉREZ, J.M.; ASCANIO, O.; ORTEGA, F.; ÁVILA, L.; CÁRDENAS, A.; MARRERO, A.: “II Clasificación genética de los suelos de Cuba”, *Revista Agricultura*, 8(1): 47–69, 1975.
- JELDRES, D.: “Pequeño riego en áreas de ladera”, *Revista AQUA*, 12, 1996, ISSN: 0716-7431.
- KELLER, J.; BLIESNER, R.D.: “Sprinkle and trickle irrigation”, 1990.
- KELLER, J.; KARMELI, D.: “Trickle irrigation design parameters”, *Transactions of the ASAE*, 17(4): 678–0684, 1974, ISSN: 0001-2351.
- LOBOA, J.; RAMÍREZ, S.; DÍAZ, J.E.: “Evaluación del coeficiente de uniformidad en cuatro emisores de riego usando filtración gruesa de flujo ascendente en capas”, *Revista EIA*, (16), 2011.
- LÓPEZ, S.T.: “Matrices integradoras de acciones para la implementación de medidas de adaptación al cambio climático a escala local”, *Revista Ingeniería Agrícola*, 6(4): 23–31, 2017.
- LÓPEZ, S.T.; DUARTE, D.C.; CALERO, B.M.: “Matrices integradoras de acciones para la implementación de medidas de adaptación al cambio climático a escala local”, *Revista Ingeniería Agrícola*, 6(4): 23-31, 2016, ISSN: 2227-8761, DOI: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.28326.32325>.
- MANTOVANI, E.C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L.F.: *Irrigação: Princípios e Métodos*, tercera edición ed., Vicosa, Brasil, 355 p., 2009.

- MARÍN, J.A.G.: “Forma y dimensiones del bulbo húmedo con fines de diseño de riego por goteo en dos suelos típicos de sabana”, *Revista Científica UDO Agrícola*, 1(1): 42–47, 2001, ISSN: NULO-0088.
- MERRIAM, J.L.; KELLER, J.: “Farm irrigation system evaluation: A guide for management.”, *Farm irrigation system evaluation: a guide for management.*, 1978.
- NOGUEIRA, C.: “Características e dimensoes do volumen de um solo molhado sob gotejamento superficial e subsuperficial”, *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 2000, ISSN: 413-4152.
- NOGUEIRA, C.C.P.; COELHO, E.F.; LEÃO, M.C.S.: “Características e dimensões do volume de um solo molhado sob gotejamento superficial e subsuperficial”, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 4(3): 315–320, 2000, ISSN: 1807-1929.
- OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN: *Técnicas de riego. Riego localizado. Evaluación Hidráulica*, NC EN 15097, La Habana, Cuba, 2012.
- PIZARRO, F.: “Riegos localizados de alta frecuencia-goteo-microaspersión-exudación”, *Madrid. Mundi-Prensa*, 1996.
- RODRIGO, J.; HERNÁNDEZ, J.M.; PÉREZ, A.; GONZÁLEZ, J.F.: “Riego localizado”, *Mundi-Prensa. Madrid*, 1992.
- RODRÍGUEZ, G.M.R.: “Comparación del comportamiento del flujo del agua en un Ferrasol bajo riego por goteo superficial y sub superficial”, *Revista Ingeniería Agrícola*, 4(2): 3–9, 2017, ISSN: 2227-8761.
- RODRÍGUEZ, G.M.R.; LÓPEZ, S.T.: “Comportamiento de la zona radical activa del banano en un Ferrasol bajo riego por goteo superficial y subsuperficial”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(3): 5–10, 2014, ISSN: 2071-0054.
- RODRÍGUEZ, G.M.R.; PUIG, O.: “Comportamiento hidráulico de los sistemas de riego por goteo superficial y sub superficial”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(3): 23–28, 2012, ISSN: 2071-0054.
- SOURELL, H.; EBERHARD, J.: “Irrigation and sprinkling”, 2009.
- SOUZA, E.; FERREIRA, E.; SILVA, P.D.: “Distribuição da umidade num perfil de solo irrigado por gotejamento superficial e subsuperficial”, *Ciência e Agrotecnologia*, 31(4), 2017, ISSN: 1413-7054.
- SURFER GOLDEN SOFTWARE INCORPORATED: *Surface mapping system*, Versión 5.04, USA, 1994.
- TALENS, J.A.M.: *Riego localizado y fertirrigación*, Ed. Mundi-Prensa Libros, 2009.
- URI, O.: “Riego y fertilización de cafetales por goteo: Un cambio conceptual”, *Revista Internacional de Agua y Riego*, 19(2), 1999.
- VERMEIREN, L.; JOBLING, G.A.: *Localized irrigation: design, installation, operation, evaluation.*, 1980.

Recibido: 20/11/2017.

Aprobado: 06/08/2018.

Enrique Cisneros Zayas, Investigador Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Boyeros, La Habana. Cuba, Correo electrónico: dptoriegol@iagric.cu

Alianni Espinosa Valdera, Correo electrónico: dptoriegol@iagric.cu

Teresa López Seijas Correo electrónico: directoradjunta@iagric.cu

Jorge Yumar, Correo electrónico: dptoriegol@iagric.cu

Nota: La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.