Sistema de riego con emisores porosos para la producción de tomate con ahorro de agua y energía: propuesta de diseño

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se realiza con el objetivo de reflejar los resultados obtenidos en la etapa final de los experimentos realizados en el Centro de Estudios Hidrotécnicos de la Universidad de Ciego de Ávila, concebidos para desarrollar y adaptar la tecnología de riego por succión con el uso de emisores porosos como alternativa de riego para la producción de alimentos en casas de cultivo de la agricultura urbana.

Luego de un minucioso estudio del estado del arte relacionado con la alternativa de riego por succión y habiendo logrado establecer la tecnología para la fabricación de los emisores porosos, se iniciaron los experimentos convenidos para el desarrollo y adaptación tecnológicas de esta nueva opción de riego. Un objetivo importante dentro de este propósito considera la propuesta de diseño de un sistema de riego que tenga en cuenta la disposición adecuada de las emisores en el cantero, a partir de conocer experimentalmente la forma y dimensiones del bulbo de humedecimiento que se logra en estas condiciones, Silva et al (1997).

Partiendo de los materiales y métodos utilizados para llevar a cabo los experimentos, en el presente trabajo se reflejan los resultados obtenidos en esta fase de la investigación, en la que finalmente se propone el esquema de un sistema de riego por succión para el beneficio del tomate en condiciones protegidas, sobre la base de analizar la eficiencia económica de ocho esquemas de riego.

MATERIALES Y MÉTODOS

El análisis de la literatura consultada sugiere que para el caso del riego por succión, la forma y dimensiones del

Resumen / Abstract

Se propone el diseño de un sistema de riego por succión para el beneficio del tomate en casas de cultivo. Se parte del análisis de la forma y dimensiones del bulbo de humedecimiento que se crea alrededor de los emisores porosos y de comparar las proporciones económicas de ocho esquemas de diseño con el propósito de seleccionar la variante más económica teniendo en cuenta los costos de inversión. En este sentido, se detallan los materiales y métodos utilizados para realizar el experimento y se abordan los resultados obtenidos.

Palabras clave: bulbo, humedecimiento, esquema, eficiencia.

The design of a suction irrigation system for the benefit of tomato crop in farming houses is addressed. Starting from the analysis of the form and dimensions of wetting bulbs created around the porous emitters, eight design schemes are prepared and a comparison of their economic items is performed to select the best economic variant, according to investments cost. The materials and methods involved to carry out the experiment, and the results obtained, are discussed in detail.

Keywords: bulb, wetting, layout, efficiency.

MSc Ing. Pável Vargas Rodríguez. Profesor Auxiliar. Departamento de Ingeniería Hidráulica. Universidad de Oriente. email: pavel@fco.uo.edu.cu
Dr. Manuel Peña Casadevalls. Profesor Titular. Centro de Estudios Hidrotécnicos (CEH). Universidad de Ciego de Ávila. email: casadevallscu@ingenieria.unica.cu
Ing. Karel García Victoria. Instructor. Centro de Estudios Hidrotécnicos (CEH). Universidad de Ciego de Ávila. email: karel@ingenieria.unica.cu
Ing. Danilo Roble de la Rosa. Centro de Estudios Hidrotécnicos (CEH). Universidad de Ciego de Ávila. email: larosadanilo@ingenieria.unica.cu
MSc. Raúl Álvarez Andión. Especialista en Proyectos. Empresa de Consultoría y Diseño de Proyectos Agropecuarios. Santiago de Cuba.

bulbo húmedo deben ser estimadas de forma experimental, por ser esta la manera más confiable de obtener estos valores, Catarino (1996). Los experimentos se realizaron para las alturas de succión correspondientes a los tratamientos uno (altura de succión = 3 cm.), dos (altura de succión = 10 cm.) y tres (altura de succión 15 cm.), desestimando por razones prácticas la altura de succión de 20 cm (tratamiento cuatro), pues se conocía de antemano que las dimensiones del bulbo generadas para estas condiciones, no eran las mas convenientes de acuerdo con la capacidad de almacenamiento de los emisores y a su transmisibilidad.

Para realizar esta parte del experimento se construyó un cajón de madera de 50 cm de lado y 80 cm de altura (figura 1), con uno de sus lados de cristal para poder efectuar las mediciones, se utilizó el mismo sustrato que el preparado para el experimento inicial y se vertió en el depósito hasta cubrir una profundidad de 50 cm. Para facilitar las mediciones se utilizó un procedimiento similar al propuesto por Silva (1982), se colocó un emisor poroso con uno de sus lados pegado al cristal, a 5 cm de la superficie del sustrato, luego de cebado el sistema se efectuó un riego manual para facilitar la estabilización hidrodinámica entre el sustrato y el emisor.

Las mediciones se realizaron para las tres alturas descritas anteriormente, dejando un intervalo de una semana entre la última medición de cada altura de succión y la próxima. En los tres casos se midió el diámetro del bulbo húmedo y la altura o profundidad que desarrollaba el mismo dentro del cajón. Se colocó un tensiómetro en el sustrato a la misma profundidad que el emisor con el objetivo de observar la variación de la tensión de humedad.

Materiales utilizados durante el experimento.

- ♦ Dispositivo Mariotte.
- ♦ Emisor poroso V = 42 ml.
- ♦ Tubería de PEAD de 4.5 mm.
- ♦ Sustrato (50% de suelo ferralítico rojo y 50% de estiércol vacuno).
- ♦ Cajón de madera (50 50) con un cristal en la parte anterior del mismo.
- ♦ Tensiómetro de vacío (1).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se puede observar en la figura 2, las formas y dimensiones del bulbo están bien definidas, la humedad que proporciona el emisor es absorbida por la fuerza de succión que ejerce en este caso la solución del suelo (sustrato mezcla), esto ocurre bajo la presencia del fenómeno osmótico, Del Castillo (1997).

Es válido aclarar que entre mayor sea el volumen de agua almacenado en el emisor, mayor serán las dimensiones del bulbo húmedo que se forma, para la misma altura de succión y propiedades del sustrato donde se establezca el cultivo. Esto sugiere que para beneficiar cultivos con un sistema radical más desarrollado que el normalmente observado en los cultivos hortícolas, es conveniente utilizar emisores porosos con una capacidad de almacenamiento mayor a las utilizadas en este experimento o de lo contrario, ubicar un mayor número de éstos por planta, Silva (1988). Cuestión esta que se justifica, al

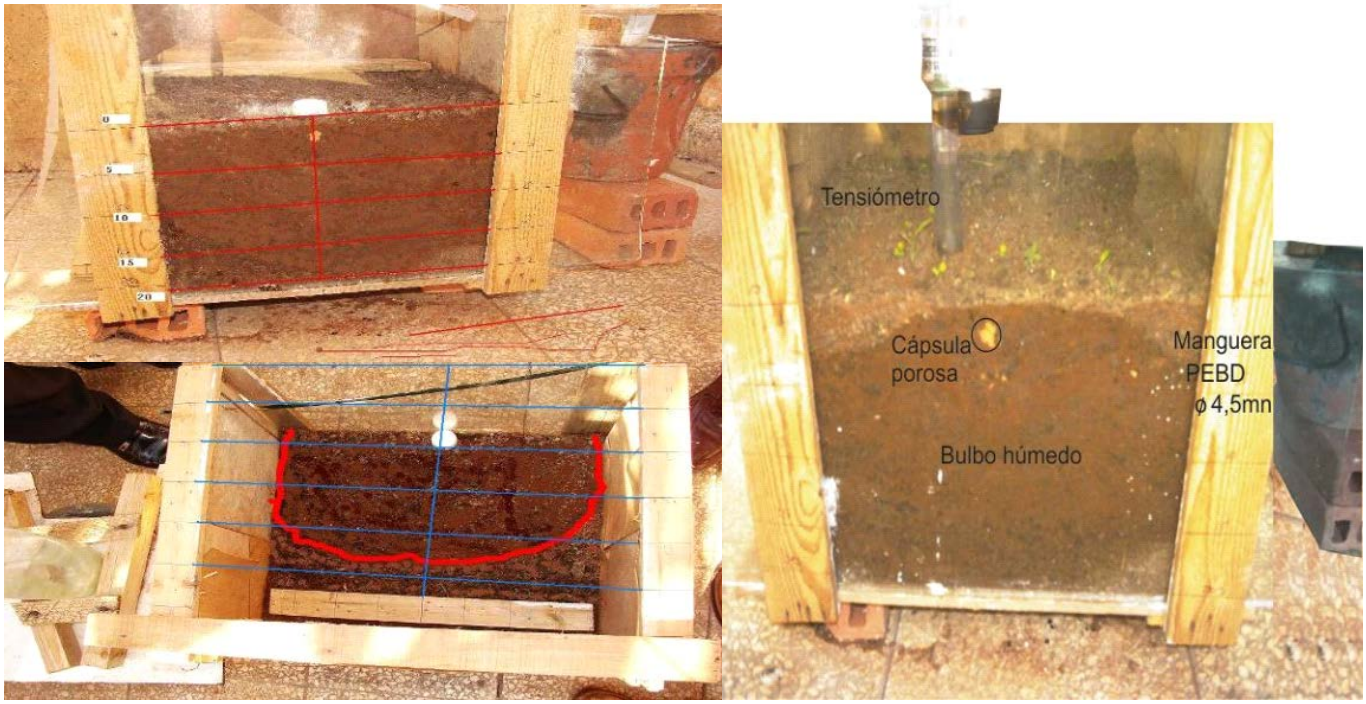

Figura 1.- Experimento para determinar las dimensiones geométricas del bulbo húmedo que se crea en estas condiciones.

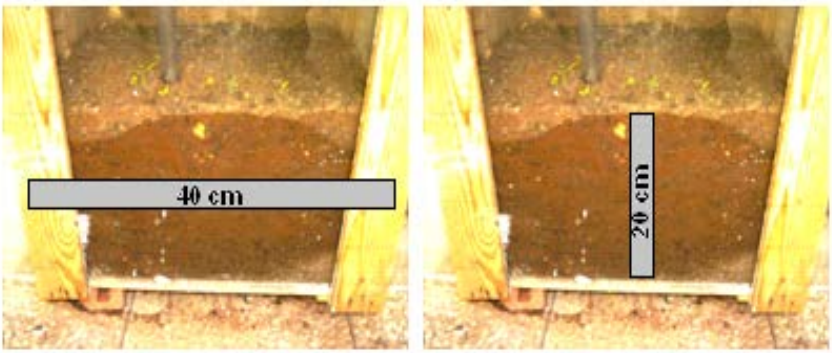

Figura 2.- Forma y dimensiones del bulbo húmedo, para h = 3 cm.

estar el emisor sometido a la fuerza de succión ejercida por las raíces de las plantas, en este caso por el flujo de savia, el cual constituye el medio de transporte de los nutrientes que garantiza la fotosíntesis y por lo tanto el desarrollo y rendimiento del cultivo.

Una ventaja importante que se deriva de la utilización de estos emisores, es el hecho de que las pérdidas por percolación y escorrentía superficial se minimizan significativamente, Stein (1998). En ambos casos se pudo observar como se manifiesta la humedad en la parte baja del cajón del experimento, fundamentalmente para el caso de la altura de succión h = 3 cm. Este fue uno de los elementos que conllevó a proponer el tratamiento uno como el más apropiado para ser aplicado a las condiciones de casas de cultivo, las dimensiones medidas en este caso resultaron 20 cm de profundidad y 40 cm de ancho, aunque es lógico inferir que en el caso de los canteros, esta última dimensión va a estar favorecida por el hecho de no existir condiciones de frontera.

La profundidad alcanzada para la altura de succión hs = 10 y 15 cm, así como el ancho del bulbo, resultaron menores en los dos casos (16 24 cm) y (12 18 cm) respectivamente, si a esto se le agrega el hecho de que en estos ensayos se pudo observar que las paredes laterales del cajón del experimento apenas ejercían condiciones de frontera sobre el bulbo de humedecimiento, se puede concluir que para las condiciones del experimento, el tratamiento uno correspondiente a una altura de succión h = 3 cm, es el más adecuado para su adaptación en escenarios de mayor escala como son las casas de cultivo y organopónicos de agricultura urbana. Los resultados obtenidos experimentalmente, permitieron realizar la representación gráfica del bulbo de humedecimiento a lo largo de un cantero, como una estimación bastante confiable en relación con lo que ocurre realmente en condiciones de parcela. Esto hizo posible considerar ocho alternativas de diseño de esquemas de riego para el beneficio del tomate en casas de cultivo, las cuales se relacionan mas adelante.

De lo anteriormente expuesto infiere la conveniencia de obtener una expresión matemática que simule con bastante precisión, las dimensiones que alcanza el bulbo húmedo para las distintas situaciones que se puedan presentar, Olguin (1975), citado por Valle y Dely (1997). Esto resulta de gran utilidad para diseñar sistemas de riego en diferentes escenarios con condiciones edafoclimáticas y de cultivo similares a las existentes para los ensayos. Estos análisis requieren de un soporte experimental riguroso sobre la base de realizar las mediciones apropiadas, las cuales en el caso de esta investigación no han sido completadas aún y por tanto serán abordadas en un próximo trabajo.

Esquema de riego.

Se estudiaron diferentes esquemas de sistemas de riego por succión con emisores porosos, propuestos por varios autores. Un rasgo distintivo resultó el hecho de que en todas las fuentes revisadas las dimensiones de los emisores utilizados resultaron mucho mayores que las diseñadas en esta investigación, y contrariamente, los valores de transmisibilidad reportados eran inferiores a los obtenidos con los emisores fabricados a partir de la mezcla IV, utilizada en este trabajo.

El esquema propuesto es el resultado del análisis de ocho variantes de diseño, en las cuales se analizaron dos marcos de siembra, a partir de lo dispuesto en el Manual para la Producción Protegida de Hortalizas, Casanova et al (2003), dos separaciones entre emisores a lo largo del lateral y dos disposiciones de los laterales de riego según que los canteros estén divididos en uno o dos puntos intermedios. La altura de succión seleccionada fue la correspondiente al tratamiento uno (h = 3 cm), debido a que produjo el bulbo de humedecimiento con mayores dimensiones geométricas y por lo tanto con la que se puede lograr un mayor solape entre los mismos.

Las ocho variantes se identifican de la siguiente forma:

♦ Variante # 1: Una hilera de plantas por cantero (50 60); Se = 25 cm; canteros alimentados por un punto inter-

medio.

♦ Variante # 2: Una hilera de plantas por cantero (50 □ 60); Se = 25 cm; canteros alimentados por dos puntos intermedios.

♦ Variante # 3: Dos hileras de plantas por cantero (50 □ 40); Se = 25 cm; canteros alimentados por un punto intermedio.

♦ Variante # 4: Dos hileras de plantas por cantero (50 □ 40); Se = 25 cm; canteros alimentados por dos puntos intermedios.

♦ Variante # 5: Una hilera de plantas por cantero (50 □ 60); Se = 50 cm; canteros alimentados por un punto intermedio.

♦ Variante # 6: Una hilera de plantas por cantero (50 □ 60); Se = 50 cm; canteros alimentados por dos puntos intermedios.

♦ Variante # 7: Dos hileras de plantas por cantero (50 □ 40); Se = 50 cm; canteros alimentados por un punto intermedio.

♦ Variante # 8: Dos hileras de plantas por cantero (50 □ 40); Se = 50 cm; canteros alimentados por dos puntos intermedios.

Se realizó un análisis gráfico para ubicar los emisores y las plantas dentro del cantero y poder evaluar los porcentajes de humedecimiento en relación con el marco de siembra. El diámetro del bulbo húmedo que se obtiene para cada altura de succión fue un criterio decisivo para disponer los emisores dentro del cantero e influye en las proporciones económicas de cada variante. Se estableció un ancho de cantero de 1.2 m y se asumió una longitud de 40 m, debido a que en las actuales instalaciones de cultivo protegido, la longitud de los laterales de riego oscila entre 38 y 43 m, según que la casa de cultivo cubra una superficie de 540 m^2 u 800 m^2. De esta forma se facilitó el análisis del diseño y la valoración económica de las variantes.

Se obtuvo el esquema de riego correspondiente a las ocho variantes, esto permitió obtener el listado de materiales y posteriormente calcular las proporciones económicas de cada una de ellas por medio realizar la cotización correspondiente. En este sentido solo se tuvieron en cuenta los costos de inversión, no así los costos anuales debido a la operación, mantenimiento, mano de obra, uso de equipos y otros incluidos en este renglón. Se estimaron los beneficios que reporta cada variante, a partir de considerar los rendimientos promedios obtenidos durante la fase experimental de la investigación y el precio actual de 1 kg de tomate de segunda calidad.

Se seleccionó como variante definitiva la tercera, ya que a pesar de que la ganancia neta y la relación beneficio/costo son menores que en las otras variantes, la inversión inicial es la menor de todas, así como el consumo de agua. Además permite un montaje y manejo del sistema de riego más apropiado, sin los inconvenientes que representa el lateral alimentado por dos puntos intermedios. Desde el punto de vista agronómico, con esta variante, al reducir el marco de plantación, se permite que las hileras de plantas aprovechen mejor de la franja de humedad continua que se crea al disponer las cápsulas en hileras a equidistancias de 25 cm, garantizando un mayor volumen de humedad y a una mejor fijación del sistema radicular en el suelo, al tiempo que mayor cantidad de nutrientes a disposición de las plantas.

Esto resulta muy conveniente para el cultivo e implica que el porcentaje del área humedecida resulte 80 % del área del marco de siembra (obtenido gráficamente) y considerando que el radio del bulbo de humedecimiento alcanza los 20 cm. Esta variante propone ubicar dos hileras de plantas de 40 m por cantero, separadas a 40 cm y las plantas sembradas a equidistancias de 50 cm a lo largo de la hilera. La tubería distribuidora colocada al centro de cada cantero, conectando una pareja de laterales de 20 m de largo a ambos lados de la misma y los emisores espaciados a 0.25 m.

Como alternativa para condiciones económicas menos exigentes se puede utilizar la variante uno. El coeficiente de utilización del agua por kg de frutos estimados resultó = 8.2 kg/ m^3, igual en las ocho variantes.

Diseño Agronómico.

Como ha sido demostrado, las necesidades hídricas de los cultivos están dadas por la evapotranspiración, Allen et al. (1998). Por ello, la dosis de riego, así como la duración y frecuencia con que la misma se aplica al cultivo, constituyen uno de los parámetros más importantes a obtener durante el diseño agronómico.

Las particularidades del riego por succión conllevan a que para esta alternativa de riego la dosis se obtenga de forma experimental, debido a que el riego es continuo y permanente, autorregulado y con una marcada influencia en el consumo del cultivo. En este sentido y dado que el resto de los parámetros a obtener en el diseño, se derivan de los resultados del experimento en condiciones controladas, resulta importante conocer qué número de emisores porosos (para un volumen dado) es necesario disponer para cada planta con el fin de garantizar el porcentaje de humedad adecuado para el cultivo.

Para cultivos de alta densidad, como es el caso del tomate sembrado en hilera en condiciones de casa de cultivo, se propone un procedimiento similar al documentado por Keller y Karmeli (1990) y que es comúnmente utilizado en riego por goteo y exudación.

De los resultados del experimento se tiene:

$Sp = 0.50m$ - separación entre plantas de una misma hilera.
$Sl = 0.40m$ - separación entre hileras continuas.
$Amp = 0.2m^2$ - área del marco de plantación.
$rb = 0.20m$ - radio del bulbo húmedo que crea el emisor.
$qe = 0.33l/p/d$ - caudal en el emisor disponible para la planta.
$Se = 0.25m$ - separación entre emisores a lo largo el lateral
$e = 3$ - número de emisores que benefician a una misma planta.

Comprobando el porcentaje de solape (a) entre los bulbos de humedecimientos y que es condicionada por la disposición de emisores seleccionada y el radio de humedecimiento del emisor se tiene:

$$a = \left(2 - \frac{Se}{rb}\right) * 100 \quad (1)$$

$$a = \left(2 - \frac{0.25}{0.2}\right) * 100 = 75\ \%$$

superior al 30% normalmente exigido para otras técnicas RLAF, pero que se justifica bajo criterios agronómicos y prácticos, por el hecho de que la representación en planta de los laterales y los emisores dentro del cantero, así como la disposición de estos últimos en relación con las plantas para un marco de siembra de 0.50 m □ 0.40 m permitió considerar que al menos tres emisores beneficien a una misma planta. Así como que este porcentaje de solape entre los bulbos de humedad conlleva a desarrollar una franja de humedecimiento continuo muy favorable para el cultivo.

Los porcentajes de superficie mínima humedecida en relación con diferentes dimensiones de siembra se pueden obtener de forma gráfica, y de forma analítica a través de la siguiente expresión, Amir (1998):

$$Pmín = \frac{e * Ae}{Sp} * 100 \quad (2)$$

$$Pmín = \frac{3 * \left(\pi * rb^2\right)}{0.5} = \frac{3 * \left(\pi * 0.20^2\right)}{0.5} = 75.4\%$$

superior al 70 % exigido para cultivos de alta densidad. El diseño se complementa con los datos de la dosis y frecuencia de riego para todo el ciclo vegetativo que se ofrece en la tabla 1.

Tabla 1.- Régimen hídrico para el cultivo del tomate con riego por succión en el sustrato del experimento.

Fases de desarrollo (días)	Dosis de riego (L/p/d)	Intervalo de riego (días)
0 – 20	0.18 – 0.28	-
21 – 33	0.27 – 0.34	-
34 – 69	0,35 – 0.39	-
70 – 78	0.25 – 0.31	-

Diseño Hidráulico.

Para garantizar el funcionamiento hidráulico de los laterales se colocaron depósitos de 5 litros en el centro de cada cantero, de manera que cada una pareja de laterales ubicados a ambos lados del depósito tomara la cantidad de agua necesaria para reponer el volumen de agua consumido en los emisores como consecuencia del consumo de las plantas. Estos depósitos se conectan a la tubería distribuidora por medio de una válvula-flotador que garantiza que estos depósitos trabajen a nivel constante y por lo tanto el sistema de riego funcione de forma autorregulada.

La finalidad del diseño hidráulico se concretó en obtener la combinación de diámetros y longitudes de tuberías que propiciara el régimen de presiones adecuado para el funcionamiento de la red de riego (figura 3). Una parte de la red de riego conduce el agua desde la instalación de bombeo hasta los depósitos fuentes, así como hasta la casa de posturas, donde fueron ubicados doce microaspersores para el beneficio del semillero. Otra parte de la red toma el agua en los depósitos-fuentes y la conduce hasta las tuberías distribuidoras que entregan el caudal necesario a cada depósito-a nivel constante de cada cantero.

Se utilizó la ecuación de Bernoulli para calcular el régimen de presiones de la red de tuberías y la ecuación de Weisbach-Darcy para estimar las pérdidas por fricción en cada tramo de tubería, Boswell (1990). Esto permitió obtener los parámetros de funcionamiento de la instalación de bombeo. El procedimiento de diseño se programó en Microsoft Excel y los resultados fueron procesados en EPANET 2.0 para simular el funcionamiento hidráulico de la red de riego en tiempo real y en período extendido.

PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO

La curva de funcionamiento de los emisores previstos para el riego de las plantas en la casa de postura responde a la siguiente ecuación: $Q = K * H^X$, donde Q es el caudal medio (l/h) que entregan los emisores para la pre-

sión de trabajo; H es la presión de funcionamiento del emisor (mca); K es el coeficiente de descarga del emisor y depende de las características de los mismos y x es el exponente de descarga del emisor, cuyo valor varia entre 0 y 1 e influye directamente en la uniformidad del riego. El diseño se previó para que los emisores funcionaran con una presión de 1.53 kPa, así: $Q = 10.83 * 15.0^{0.4884} = 40.65 l/h$, los emisores estarán insertados sobre la línea y separados 1.0 m a lo largo del lateral, los laterales se diseñaron de PEBD ϕ – 16 x12 mm, conectados a una distribuidora de PEBD ϕ – 32x28 mm y separados a 2.0 m a ambos lados de ésta.

Las tuberías que conducen el agua desde los depósitos fuentes hasta las tuberías distribuidoras se concibieron de PEBD ϕ – 16x12 mm, las tuberías distribuidoras que entregan el agua a las casas de cultivo, se diseñaron igualmente de PEBD ϕ – 16x12 mm y tienen la función de distribuir el agua a los depósitos a nivel constante de cada cantero, los laterales están constituidos por mangueras de PEBD ϕ – 4.5 mm y tienen una longitud de 20 m con los emisores en la línea a equidistancias de 0.25 m. Durante el funcionamiento del sistema, los laterales conducen el agua de forma autorregulada desde los depósitos a nivel constante hasta el sistema radicular de las plantas a todo lo largo del cantero.

La potencia consumida por el equipo de bombeo P (kW), depende del caudal que se bombea, de la altura manométrica total y de los rendimientos de la bomba y el motor, Pérez Franco (2000) y se puede obtener mediante:

$$P = 0.009807 * \frac{Q * H}{\eta b * \eta m} \quad (3)$$

donde:

Q .-Caudal bombeado (l/s).

H .- Altura manométrica total (mca).

ηb .- Rendimiento de la bomba (tanto por uno).

ηm .- Rendimiento del motor (tanto por uno).

Para este caso se utilizó una bomba italiana marca Caprari de la serie E 6x40 - 4 / 4 a rpm = 3500, que bombea un caudal de 3.2 l/s a 36.0 mca, con una eficiencia del 85 %, la misma esta acoplada a un motor eléctrico de rendimiento = 0.84. La altura manométrica total se obtuvo a partir de:

$$H = hf + hm + ht + hv + he \quad (4)$$

Donde hf son las pérdidas de carga debido a la fricción del fluido con la tubería, se obtuvieron mediante la ecuación Weisbach - Darcy: hm son las pérdidas menores producidas por la instalación de accesorios en la red de tuberías, se calcularon por el procedimiento de longitud equivalente, Pérez Franco (1986): ht son los requerimientos de presión para hacer funcionar el sistema de riego por microaspersión para a la casa de posturas, calculado a partir de la presión de trabajo de los emisores (1.53 kPa): hv es la altura representativa de velocidad $\left(\frac{v^2}{2g}\right)$,corresponde a la energía cinética del agua en el interior de la tubería y depende de la velocidad del agua. Este parámetro no se tuvo en cuenta debido a que las velocidades en el interior de las tuberías son menores de 1.0 m/s: he es la altura estática, representada por la diferencia entre la toma del agua y la entrega, para este caso = 2.5 m, por lo que:

$H = 0.85 + 1.0 + 15.85 + 0 + 2.5 =$ 23.6 m y

$$P = 0.009807 * \frac{23.6 * 1.0}{0.85 * 0.84} = 0.325 \text{ kW.}$$

El costo del funcionamiento de la instalación de bombeo C (MN) esta en función de la potencia consumida por el equipo de bombeo, la tarifa eléctrica y el tiempo de funcionamiento del mismo, Pérez Franco (2000) y se puede calcular así:

$$C = P * Ce * T \quad (5)$$

donde: es la potencia consumida (kW), Ce es el costo de la energía eléctrica (MN/kW) y T es el tiempo de funcionamiento de la bomba (= 3 h).

$C = P * Ce * T =$ 1.27 pesos diarios, para un total mensual de 39.30 pesos.

La capacidad de los depósitos fuentes se previó de 1.3 m^3, este volumen permite que el equipo de bombeo funcione durante una hora y cada ocho horas al día.

En la figura 4 se muestra el esquema de la red de riego simulada en EPANET 2.0, la representación gráfica de la misma permitió lograr una vista en planta de esta y al mismo tiempo elaborar algunas recomendaciones para el montaje e instrucciones para el manejo del riego con esta alternativa.

Construcción y Montaje.

Una vez construidos los canteros con las dimensiones establecidas, se prepara el sustrato a razón de 50 % de estiércol vacuno descompuesto y 50 % de capa vegetal debidamente cernida por un tamiz de 1 cm^2. Se coloca una capa de aproximadamente 30 cm sobre la cual se

disponen los emisores, los mismas quedarán conectados entre sí por tuberías de PEAD de 4.5 mm de diámetro por medio de un pegamento de contacto compatible con el agua, seguidamente se procede al cebado del sistema, este deberá llevarse a cabo entre dos operarios, levantando el depósito a nivel constante para lograr que se llenen todos los emisores.

Durante esta maniobra el segundo operario deberá mantener el extremo del lateral levantado hasta una altura tal que logre el llenado del sistema, al mismo tiempo debe garantizar que el agua salga de forma permanente y uniforme por el extremo final de la tubería como garantía de que ha expulsado todo el aire. Posteriormente se tapa el extremo final de la tubería y se procede al cebado de todos los laterales que toman agua del mismo depósito.

Finalmente se baja el depósito a su posición normal y se procede a rellenar el cantero, este procedimiento debe repetirse para el otro depósito del cantero y de la misma forma para los canteros restantes. Las plantas deberán sembrarse a equidistancias de 50 cm, cuidando ubicarlas al centro entre dos cápsulas sucesivas. Se debe prever la ubicación de válvulas para la limpieza del sistema, para eliminar los sedimentos que pudieran precipitar debido a las bajas velocidades del agua en el interior de las tuberías, esto infiere su colocación al final de cada conductora y distribuidora, de manera que permita su limpieza a presión desde los depósitos de 1.3m^3.

Instrucciones para el manejo.

Las labores agrotécnicas dentro de los canteros se harán de forma manual para evitar daños mecánicos al sistema. Es necesario asegurarse de no dañar las conexiones entre los emisores ya que esto implicaría la descompensación del sistema. De igual forma se debe garantizar un funcionamiento adecuado de la válvula de flotador la cual es la encargada de mantener el nivel de agua constante en el depósito al cual están conectadas las tuberías laterales. Para llevar a cabo la fertirrigación es necesario utilizar fertilizantes líquidos (BAIFOLAN) y verterlos en el depósito a nivel constante. Las labores agrotécnicas se realizarán de acuerdo con los manuales publicados para el cultivo del tomate variedad F1-FA 572 de crecimiento indeterminado.

Después de cada cosecha deberá realizarse una limpieza del sistema para lo cual se propone desenterrar los emisores, los cuales deben ser limpiadas con un paño seco y revisar su estado de ser necesaria alguna sustitución esta se realizará verificando su posterior conexión. Los depósitos a nivel constante deben ser igualmente limpiados para eliminar los restos de los fertilizantes que pudieran quedar incrustados. Estos deben estar debidamente tapados para evitar la proliferación de insectos.

Figura 3.- Foto aérea del polo de agricultura urbana de Campo Antena (1.56 ha.)

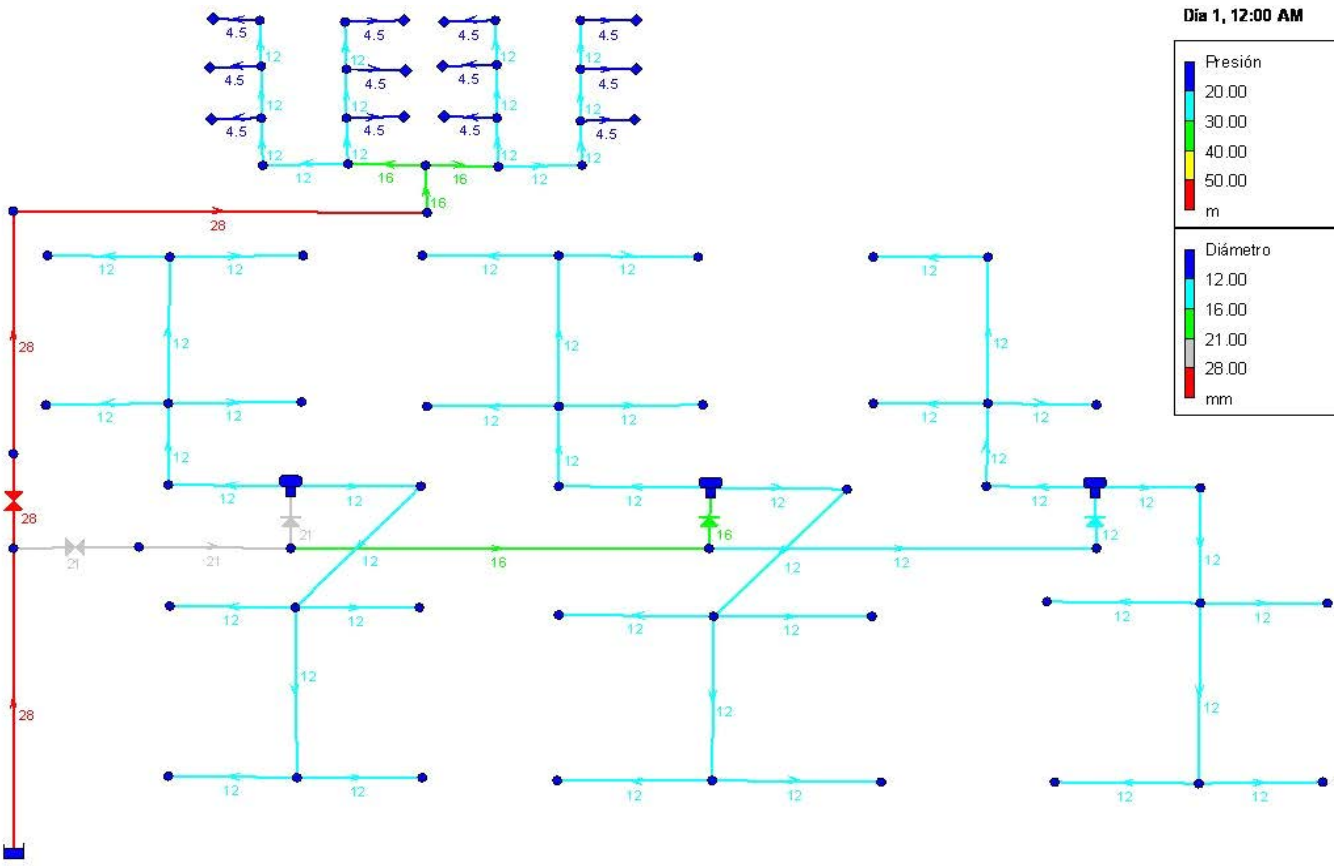

Figura 4.- Esquema red de riego (EPANET 2.0).

CONCLUSIONES

1. Los ensayos para evaluar la forma y dimensiones geométricas del bulbo húmedo aportan elementos importantes a tener en cuenta para adaptar esta nueva opción de riego a escenarios de mayor escala.

2. La mayor dimensión del bulbo húmedo resultó 20 cm de profundidad y 40 cm de ancho y se obtuvo con la altura de succión h = 3 cm.

3. Las lecturas en los tensiómetros mostraron valores de tensión de humedad en el sustrato de cultivo correspondientes a un pF = 2,8-3, lo que evidencia la presencia de un régimen hídrico biológicamente óptimo.

4. El agua es dispuesta para las plantas de forma permanente y regulada y las dosis de riego varían entre 0.18 y 0.39 l/p/d durante el ciclo vegetativo del cultivo, con una frecuencia diaria.

5. Los parámetros de funcionamiento de la bomba satisfacen por igual los requerimientos de funcionamiento de los emisores que benefician la casa de posturas (1.53 kg/cm^2) y los volúmenes de entrega a los depósitos a nivel constante de cada tubería distribuidora (5 litros). La bomba funcionará durante una hora y tres veces al día (cada 8 horas)

REFERENCIAS

1. Amir, I., Dag, J. (1998): Lateral longitudinal wetting patterns of very low energy moving emitters. Sprinkler and Trickle Irrigation. CV. 70 pp. IHE. Delft. The Netherlands.

2. Allen R. G., Pereira, L. S. Raes, D., Smith, M. (1998): "Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements". FAO Irrigation and Drainage Paper. 56. Rome. Italy.

3. Boswell, M. J. (1990):"Micro-Irrigation Design Manual". James Hardie Irrigation (IBERIA) S. A. 41 700 Dos Hermanas. Sevilla. España.

4. Casanova et al (2003): "Manual para la Producción Protegida de Hortalizas". Ciudad de La Habana. CUBA.

5. Catarino, M. C. (1996): "Efecto del riego con capsulas porosos en el cultivo del maíz y frijol". *Chapingo*, No 7.

6. Del Castillo, LF. (1997): "La ciencia para todos". Fondo de Cultura Económica, Secretaría de Educación Pública. CNCT. Carretera Picacho-Ajusco 227, 14200 México, D.F. http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/

7. Keller, J., Karmeli, D. (1990): "Trickle irrigation design". Rain bird Sprinkler Manufacturing Glendora Corporation, CA. EE.UU.

8. Olguín, P. C. (1975): Riego por succión, descripción del

método y avances en la investigación. *Seminario de riego por goteo*, Hermosillo, Sonora, México.

9. Pérez Franco, D. (2000): Máquinas Hidráulicas Rotodinámicas. 2da Edición. Editorial CIH - ISPJAE. Ciudad de La Habana. Cuba.

10. Pérez Franco, D. (1986): Introducción al estudio de los sistemas de tuberías. 1ra reimpresión. Editorial Pueblo y Educación SNLC: RA 01.10860.3, 120 pp. Ciudad de La Habana. Cuba.

11. Silva, A. de S.; Porto, E. R. (1997): "Viability of irrigation by porous capsule method in arid and semi arid regions". *Pesquisas Agropecuarias*, 19(19) 1257 -* 1265.

12. Silva, A. de S., Carvalho, H.O. and Silva, D.A., Gheyi, H. R. (1988): "Irrigation by Porous Capsule Method under hydrostatic pressure". UFPB/EMBRAPA, 26p. Petrolina, PE, Brasil.

13. Silva, A. de S (1982): Irrigação por cápsulas porosas. III: Avaliação Técnicado método por pressão hidrostática in pequena Irrigação para o trópico semi - árido: Vazantes e cápsulas porosas. EMBRAPA - CPATSA, pp. 20-42. Petronila, PE; Brazil.

14. Stein, Th. M. (1998): "Development and evaluation of design criteria for pitcher irrigation systems (translation of original title)". DRE and NRP. University of Kassel. Germany.

15. Valle, F. H; Dely M. (1997): Experimento preliminar en invernaderos con riego por succión para el diseño de capsulas porosos. Chapingo, Nueva época, No. 7.

Recibido: mayo del 2010
Aprobado: junio del 2010