

ESTIMACIÓN DEL ESTADO HÍDRICO DEL SUELO POR TENSIOMETRÍA PARA LA PROGRAMACIÓN Y MANEJO DEL RIEGO LOCALIZADO EN EL CULTIVO DE PIMENTÓN

ESTIMATE OF THE STATE HIDRICO OF THE SOIL FOR TENSIOMETRIC MEASUREMENTS FOR THE MANAGEMENT AND SCHEDULING OF THE DRIP IRRIGATION IN THE PEPPER CROP

Rázuri Ramirez, Luis¹; Romero Carrillo, Edgar²;
Rosales Daboin, José¹; Cañizalez Román, Gilmer³.
¹CIDIAT-ULA Apartado 219, Mérida, ²IIAP-ULA, Mérida, ³ULA-NURR., Trujillo.
razuri@ula.ve

Resumen

Este trabajo tiene como objetivo valorar la utilidad y aplicabilidad de las técnicas de cuantificación de la humedad en el suelo, a través de la tensiometría, para la monitorización y seguimiento del riego en el cultivo de pimentón (*Capsicum annum L.*) en el Valle de Quíbor. Se han aplicado diferentes regímenes hídricos mediante el riego localizado en la modalidad de cinta de goteo. Las estrategias de monitorización del riego utilizadas fueron las siguientes: considerar como punto de partida para la dosificación del riego, el balance hídrico del suelo calculado a partir de la evapotranspiración del cultivo de referencia, obtenida de la Tina «Tipo A», y el coeficiente de cultivo, tomando en cuenta el contenido de humedad del suelo y el seguimiento del contenido de agua en el mismo, manteniendo la tensión mátrica por encima de un determinado valor, que varía según el estado fenológico del pimentón y los objetivos de producción y calidad deseados. El diseño experimental fue de bloques al azar, con arreglo de tratamiento factorial y tres repeticiones. Se consideraron como factor la ubicación de la cinta de goteo con dos niveles: en superficie del terreno y enterrada a 10 cm, y distintos regímenes hídricos con el fin de generar variabilidad en el estado hídrico del suelo. Los regímenes hídricos se realizaron a través del tiempo de riego con tres niveles: riego 1, 2 y 3 veces al día, con intervalos de 4 horas. Los tratamientos resultantes fueron 6, cada uno de ellos compuesto por tres hileras de plantas de 105 m de longitud, de las cuales la hilera central se consideró para medición de rendimientos y las hileras laterales para muestreos quincenales. Las evaluaciones fueron sobre la humedad antes y después del riego, el potencial matricial a dos profundidades, 15 y 35 cm, el tiempo y la lámina de riego, los volúmenes y caudales aplicados y se siguió un programa de fertirrigación diaria. Los análisis estadísticos demostraron que no existen diferencias en los tratamientos considerados; sin embargo, el análisis de las medias permitió definir una tendencia a una producción mayor con la aplicación de dos riegos por día, sin importar la ubicación de las cintas de goteo. Se concluye que el manejo del agua y la programación del riego mediante la técnica del tensiómetro se adaptó a las condiciones del suelo del Valle de Quíbor, permitiendo utilizar una de las grandes virtudes del riego localizado, como es el fraccionamiento del aporte de agua, reponiendo diariamente las necesidades hídricas del cultivo. En las condiciones del trabajo, las medidas del potencial matricial del suelo a 15 y 35 cm de profundidad constituyen un buen indicador de la disponibilidad de agua en el suelo y por lo cual es una herramienta eficaz para el seguimiento y operación del riego.

Palabras clave: Tensiometría, Programación y Manejo, Riego Localizado, Pimentón.

El presente trabajo se encuentra enmarcado en el Contrato N° 297-2003, propiedad del Sistema Hidráulico Yacambú-Quibor (SHYQ-CA), contratado al CIDIAT-ULA

Abstract

The objective of this research was to evaluate utility and applicability of quantification techniques of soil water, through tensiometric measurements, for the monitoring of irrigation in the cultivation of pepper crop (*Capsicum annuum* L.) in the Valley of Quibor, Venezuela. Different water regimes were applied by means of drip irrigation in the modality of strip dripping. The monitoring strategies for irrigation were the following ones: to consider, as starting point for the dosage of irrigation, the soil water balance calculated with reference to evapotranspiration of the reference crop, obtained of the Pan «Type A», and the crop coefficient, taking into account the soil water content, and its monitoring, maintaining the matric potential above a certain value that varies according to the phenologic state of the pepper crop, the production objectives and the standard of quality. The experimental design was at random blocks, with arrangement of factorial treatment and three repetitions. Considering as a factor the location of the «strip dripping» with two levels: on land surface and buried to 10 cm from the surface, and different water regimes with the purpose of generating variability in the soil water state. The water regimes were performed through irrigation time with three levels: irrigation 1, 2 and 3 times a day, with intervals of 4 hours. The resulting treatments were 6, each one of them composed by three lines of plants of 105 m of longitude, of which the central line was considered for measurement of yields and the lateral lines for samplings every two weeks. Soil water was measured before and after irrigation. The matric potential to two depths, 15 and 35 cm, the time and the deep irrigation, the volumes and applied flows and a program of daily ferti-irrigation was continued. The statistical analyses did not show significant differences among the considered treatments; however, the analysis of averages allowed to define a tendency to a bigger production with the application of water by irrigations twice per day, without caring the location of the tape dripping. One can conclude that water management and programming of irrigation by means of the tensiometric measurement technique, adapted to the conditions of the Valley of Quibor soil. It allowed to use one of the most important qualities of drip irrigation, such as allowing the division of water delivery, restoring the water requirement of the crop daily; under the conditions of the conduction of this experiments. Under such conditions, the measures of soil matric potential to 15 and 35 cm of depth constitute a good indicator of soil water availability and a reason to explain why it is an effective tool for the monitoring and operation of irrigation.

KEY WORDS: Tensiometric, Programming and Managementg, Drip Irrigation, Pepper crop, Valley of Quibor.

INTRODUCCIÓN

La mayor parte del Valle de Quibor se enfrenta durante casi todo el año una alta demanda evapotranspirativa y un escaso contenido de agua en el suelo, debido a sus condiciones semiáridas que ha llevado a un alto aprovechamiento del recurso agua con fines de riego, que depende en gran medida al método de riego utilizado.

Actualmente, la mayor parte de la superficie es regada con métodos superficiales como el serpentín y el cantero; los cuales representan metodologías válidas ajustadas a las condiciones edáficas, topográficas y de cultivo en la zona.

Los efectos del riego sobre la calidad de los cultivos, en este caso el pimen-

tón, son variados y algunas veces contradictorios. En general los riegos excesivos provocan una disminución de la calidad del fruto. Las estrategias de manejo durante el período de vida de un cultivo, generalmente producen efectos en el crecimiento vegetativo y reproductivo de las diferentes especies vegetales. En el caso del pimentón (*Capsicum annuum* L.) la manifestación de las variaciones en las estructuras de la planta, durante un determinado intervalo de tiempo, puede ser inherente al comportamiento de los genotipos o ser modificada por diversos factores, entre los cuales se destaca la distancia de siembra (Viloria, 1991). Para obtener un producto de calidad y una buena producción del pimentón y cualquier otro cultivo, además del manejo de la fertilización, el control de plagas y el control fitosanitario, es prioritario el manejo técnico del riego.

La consecuencia de una técnica de riego mal gestionada puede ser una mala cosecha o una mala calidad del producto. Es por esto que el manejo del riego, y con ello su monitorización, constituye la técnica más efectiva para obtener cosechas adecuadas en cantidad y productos de la mejor calidad.

Las técnicas utilizadas para la motorización del riego pueden basarse en las condiciones atmosféricas, como la estimación de la evapotranspiración, el control de la humedad del suelo y el seguimiento del estado hídrico de la planta.

Para este caso particular del cultivo de pimentón, las estrategias de monitorización del riego utilizadas son de dos tipos:

1. La que considera como punto de partida para la dosificación del riego, el balance hídrico del suelo calculado a partir de la evapotranspiración del cultivo de referencia, obtenida de la Tina «Tipo A», y el coeficiente de cultivo, considerando el contenido de humedad en el suelo.

2. El seguimiento del contenido de agua en el suelo, manteniendo la tensión mátrica por encima de un determinado valor, que varía según el estado fenológico del pimentón y los objetivos de producción y calidad deseados.

La medida del contenido de humedad en el suelo y la del potencial mátrico a través de tensiometría son técnicas ampliamente empleadas en las estrategias de monitorización del riego.

Las medidas de tensiometría utilizadas en el seguimiento del riego tienen la ventaja, con respecto al contenido de humedad, que pueden ser interpretadas rápidamente además de indicar el esfuerzo que debe realizar la planta para extraer el agua del suelo.

El objetivo del presente trabajo es evaluar la utilidad de la tensiometría para el seguimiento, manejo y programación del riego en el pimentón, en un suelo del Valle de Quibor, utilizando riego localizado.

MATERIALES Y MÉTODOS

La Parcela Experimental de 0,6 ha se instaló en la Hacienda Santa Isabel; el área de estudio se ubica dentro de la Serie Chaimare caracterizada fisiográficamente como una napa de desborde, de topografía plana con pendiente general de un 0,5 % y de microrelieve plano y liso. La caracterización del perfil realizada por el SHYQ, CA (1995) indica que es un suelo de textura uniformemente francosa, variable entre franco limosa, franca y franco arcillosa; el color varía muy poco y es normalmente marrón a marrón oscuro en el horizonte superficial y marrón amarillento en el resto del perfil. La estructura es uniformemente blocosa muy débil, normalmente con tendencia a masiva.

La capacidad de campo se determinó en el área utilizando un cajón de madera de 0,45 m³. Esta prueba fue realizada en varios lugares de la parcela, tomándose muestras de suelo en los estratos de 0 a 25 cm y de 25 a 50 cm, a las cuales se determinaron las humedades gravimétricas a las 24, 48 y 72 horas. Así mismo, se determinó a densidad aparente del suelo mediante dos procedimientos: cilindro Uhland y excavación.

El agua utilizada para el riego proviene de una laguna de almacenamiento, la cual es alimentada por agua bombeada desde un almacenamiento mayor, que se nutre de tres pozos profundos ubicados aproximadamente a una distancia de 3 Km, y por la escasa agua de lluvia caída en el área. El análisis de laboratorio dio como resultado una clasificación C3-S1, agua de alto riesgo de salinidad y bajo contenido de sodio, según criterio del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA); con valores de pH de 7,88; conductividad eléctrica 0,986 dS/m, un alto valor de carbonatos 20,4 meq/l, un Índice de Cloruros de 1, que indica ningún riesgo potencial, y ningún problema de toxicidad, según Pizarro (1987).

Con el fin de determinar las condiciones de salinidad del suelo se recolectaron muestras del tipo compuesto, tomadas en forma aleatoria con el fin de obtener una mejor representatividad en los resultados esperados. Las muestras se hicieron en dos rangos de profundidades 0 – 25 cm y 25 – 50 cm, en razón de estudios de suelos realizados anteriormente, que refieren esa estratigrafía. Los resultados del análisis, indican entre otros valores, un pH de 7,71 y 7,83 respectivamente a las profundidades mencionadas; conductividad eléctrica del extracto de saturación de 6,07 y 7,37 dS/m, que clasifica al suelo como salino y una intensidad de salinidad de medianamente salino, según Pizarro (1987), y altos valores de magnesio y calcio.

La representación gráfica de la relación que existe entre el nivel de tensión y su correspondiente contenido de humedad de agua en el suelo, llamada curva de retención de agua, es una de las herramientas básicas en los estudios sobre el

aprovechamiento de agua almacenada en el suelo para las plantas. Esta curva de retención es considerada como una característica del medio edáfico; sin embargo, ella puede ser alterada por operaciones de cultivo y modificaciones de contenido de materia orgánica. La obtención de la curva de retención es una de las etapas importantes para el establecimiento de la estrategia de manejo de riego, basada en el agua almacenada en el suelo. Con base a esto se realizaron pruebas de retención de humedad, con énfasis en bajas tensiones, debido a que el suministro de agua al cultivo se planteó diariamente; se recolectaron muestras compuestas de suelo tomadas en forma aleatoria y a las dos profundidades consideradas.

La curva de retención es una expresión de la energía con que un determinado contenido de agua se encuentra retenido en el suelo. Los valores obtenidos de contenido de agua en el suelo se ajustaron mediante el modelo matemático de Genutchen (1980), utilizando la técnica estadística de regresión no – lineal (Kennedy y Gentle, 1980). Estas curvas de retención fueron modeladas a partir de 8 puntos de tensión vs. contenido de humedad. Este modelo es uno de los más adecuados para representar el fenómeno de retención de agua en el suelo para diversas aplicaciones, inclusive para movimiento de agua en el suelo.

El modelo puede ser representado de la siguiente forma:

$$\theta = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) \left[1 + (\alpha h)^n \right]^{(1/n) - 1} \quad (1)$$

- θ contenido de agua en el suelo, cm^3 agua / cm^3 suelo;
- θ_s contenido de agua en el suelo a saturación, cm^3 agua / cm^3 suelo;
- θ_r valor residual de contenido de agua en el suelo cuando la tensión tiende al infinito, adimensional
- α parámetro empírico de ajuste, kPa;
- n parámetro empírico de ajuste, adimensional;
- h tensión de agua en el suelo generado por la centrífuga, kPa.

Existen varias rutinas en programas estadísticos que pueden ser utilizados para realizar el ajuste del modelo. En este trabajo se utilizó la función «Solver», que se encuentra en la hoja de cálculo Excel de Microsoft, Microsoft (2003), para ajustar los parámetros del modelo (θ_r, α, n), fijándose un valor de θ_s igual a la porosidad total del suelo; los resultados se presentan en la Tabla 1.

Adyacente a la Parcela Experimental se ubicó una estación climática, la cual constaba de un anemómetro ubicado a 2 m de altura, una tina estándar de

evaporación y una estación automática de precipitación provista de un dispositivo electrónico de registro; asimismo, se instaló un pluviómetro de cántaro para el chequeo y calibración del módulo automático de medición de precipitación.

Las plántulas del pimentón híbrido Camelot fueron transplantadas a un patrón de siembra de 32 cm x 100 cm, equivalente a 30. 680 plantas ha-1.

El sistema de riego utilizado fue una cinta de goteo con emisores espaciados cada 32 cm, con caudal nominal de 1,9 l/ h- m y presión nominal de 55 kPa. El sistema estaba abastecido a través de una motobomba de 12 HP y 3000 rpm, cabezal de riego, tanque de mezcla de fertilizantes, inyector tipo venturi de ¾", batería de cuatro (4) reguladores de presión, una ventosa de 1" y un contador tipo Woltmann 80 x 3".

Para el cálculo de la lámina de agua a ser repuesta por el riego, en función del nivel de agua en el suelo, se utilizó la siguiente ecuación:

$$db = \left(\frac{CC - HA}{Ef} \right) Pr \quad dap \quad (2)$$

- db lámina bruta a ser aplicada, mm.
Pr profundidad media de mojado del estrato de suelo a ser regado, mm.
dap densidad aparente del suelo, gr/cm³
Ef es la eficiencia de riego del sistema, en decimal.
CC límite superior de almacenamiento disponible de agua en el suelo, cm³ agua/cm³ suelo.
HA humedad actual al momento de riego, cm³ agua/cm³ suelo.

Las láminas brutas fueron previamente determinadas a partir de la optimización del modelo de van Genutchen, utilizando una gama de valores de tensiones esperadas, antes del riego, a lo largo del ciclo del cultivo.

Tabla 1. Datos de campo y de laboratorio y procedimiento empleado para la construcción de la curva de retención de humedad, según Genutchen (1980)

ÁREA REGADA		CURVA DE RETENCION		
Propietario:	<i>Pedro Pérez</i>	Tensión	Humedad gravimétrica	
Hacienda:	<i>Santa Isabel</i>	(atm)	(0-25 cm)	(25-50 cm)
Dirección:	<i>Quibor</i>	0,0493	0,2963	0,3286
Ciudad:	<i>Quibor</i>	0,0987	0,2741	0,2888
Estado:	<i>Lara</i>	0,1974	0,2628	0,2617
Teléfono:		0,3948	0,2233	0,2329
Fax.:		0,5922	0,1750	0,1808
Ident. Area:	<i>Riego Localizado</i>	0,9869	0,1528	0,1603
		4,9346	0,1388	0,1428
		14,8038	0,0834	0,0943
		Dens. (g/cm ³)	1,41	1,32
Eficiencia de Riego:	95,0%	CC (atm)	0,25	0,3118
Unidad de tensiómetro:				

PARAMETRIZACION DE LOS DATOS DE RETENCION

Tensión (kPa)	Contenido volumétrico de agua en el suelo (cm ³ /cm ³)					
	obs	calc	dif.	obs	calc	dif
5,00	0,4178	0,4293	-0,011562	0,4338	0,4355	-0,001794
10,00	0,3865	0,3939	-0,007435	0,3812	0,3881	-0,006891
20,00	0,3705	0,3469	0,023617	0,3454	0,3350	0,010430
40,00	0,3149	0,2970	0,017807	0,3074	0,2850	0,022423
60,00	0,2468	0,2696	-0,022821	0,2387	0,2590	-0,020353
100,00	0,2154	0,2382	-0,022736	0,2116	0,2301	-0,018525
500,00	0,1957	0,1643	0,031421	0,1885	0,1641	0,024439
1500,00	0,1176	0,1316	-0,013956	0,1245	0,1353	-0,010855
	Estrato de 0-25 cm			Estrato de 25-40 cm		
Saturación, θ_s (cm ³ /cm ³)	0,4679			0,5019		
	Parámetros optimizados					
θ_r (cm ³ /cm ³)	0,0559			0,0707		
n	1,3280			1,3351		
α (kPa ⁻¹)	0,1168			0,1920		
Suma de cuadrados	0,00328356			0,00213477		

Las necesidades de agua del cultivo se determinaron a partir del cálculo de la evapotranspiración del cultivo, que depende de las condiciones climáticas, de las características del suelo, y de la propia planta, es decir de la interrelación suelo-planta-atmósfera.

La evapotranspiración del cultivo se obtiene mediante la fórmula:

$$E_t = E_o \times K_c \quad (3)$$

El coeficiente de cultivo, K_c , debe ajustarse al cultivo y a la zona, y vendrá dado por las características de éste y por las condiciones climáticas.

La E_o se determinó a partir de los datos de la tina de evaporación tipo «A», mediante la siguiente ecuación:

$$E_o = E_v * K_p \quad (4)$$

El coeficiente de tina, K_p , puede ser calculado a partir de datos climáticos de la zona como humedad relativa y viento, considerando la existencia de cubierta verde o barbecho en las proximidades de la tina.

En las condiciones de programas de riego en tiempo real y aplicaciones de agua con alta frecuencia, como es el caso del presente trabajo, el coeficiente de cultivo se calculó considerando separadamente los efectos de transpiración del cultivo, K_{cb} , y de evaporación del suelo, K_e ; es decir con el denominado Coeficiente Dual del Cultivo.

El coeficiente K_c , anteriormente tratado, es reemplazado por:

$$K_c = K_{cb} + K_e \quad (5)$$

Diseño Experimental

El diseño experimental para el estudio del régimen hídrico fue de bloques al azar, con arreglo de tratamiento factorial y tres repeticiones, en el cual se consideraron como factor la ubicación de la cinta de goteo con dos (2) niveles: en superficie del terreno y enterrada a 10 cm, y distintos regímenes hídricos con el fin de generar variabilidad en el estado hídrico del suelo. Los regímenes hídricos se realizaron a través del tiempo de riego con tres (3) niveles: riego 1, 2 y 3 veces al día, con intervalos de 4 horas. Los tratamientos resultantes fueron 6, como

se observa en la Figura 1; cada uno de ellos estaba compuesto por tres hileras de plantas de 105 m de longitud, de las cuales la hilera central se consideró para medición de rendimientos y las hileras laterales para muestreos quincenales.

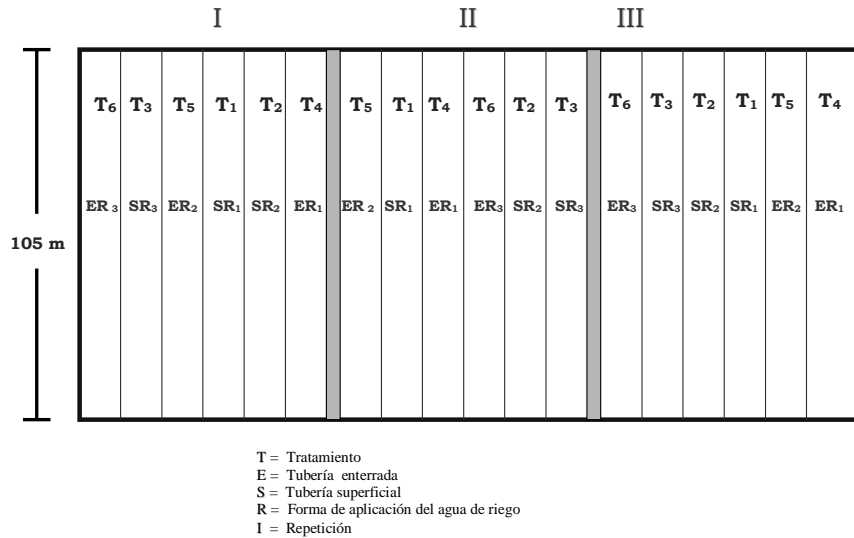


Figura 1. Diseño Experimental - Plano de distribución de tratamientos

Operación y Manejo del riego

Azevedo y Silva (1995) manifiestan que en comparación con otros métodos de monitorización y control de riego, los tensiómetros tienen la ventaja de conocer en tiempo real la tensión de agua en el suelo e indirectamente conocer la cantidad de agua presente en el mismo. Esto permite definir el momento de riego y al mismo tiempo determinar la cantidad de agua necesaria para reponer el déficit hídrico Heermann, et.al.(1990).

Las condiciones de suelo encontradas en el Valle de Quibor, son favorables para la utilización de tensiómetros, por lo cual se colocaron a 10 cm, para los primeros estadios; 15 cm como profundidad media del estrato de 0 a 25 cm y lugar donde se ubicará la mayor densidad de raíces, y a 35 cm como media del estrato de suelo de 25 a 50 cm.

Se instalaron 17 tensiómetros en total; seis (6) en la primera réplica, en los tratamientos T5, T1 y T4; seis (6) en la segunda réplica, en los tratamientos T1, T4 y T3 y cinco (5) en T1 y T4, como se presenta en la Figuras 2.

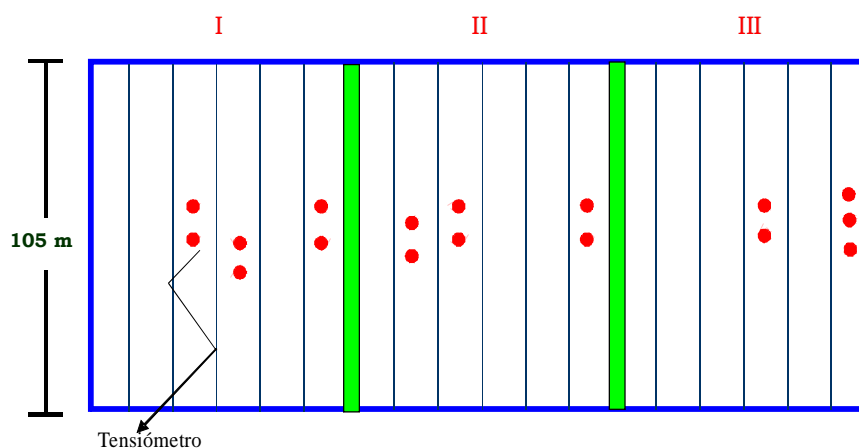


Figura 2. Distribución de tensiómetros en el diseño experimental

Para el establecimiento del cultivo se consideró lecturas del potencial hídrico del suelo próximo a capacidad de campo y superada la etapa de transplante se cambió de estrategia a una tensión entre 30 y 40 kPa.

Establecimiento del cultivo

Preparación de tierras

Tradicionalmente el agricultor del Valle de Quibor durante décadas ha logrado estructurar un esquema de preparación del suelo, que aunado a una práctica de riego ha alcanzado rendimientos aceptables de los cultivos, sin cumplir los requerimientos de lavado de sales y con una debida práctica de drenaje que alivia el posible problema de exceso de agua. El esquema cotidiano consiste en realizar mínimo tres pases de subsolador acompañado de 6 a 8 pases de rastra, con la correspondiente nivelación para terminar con la surcadora o pases de arado.

La preparación de tierras consistió de dos pases de subsolador, en «pata de gallina», a una profundidad de 70 cm. Adicionalmente se hizo solamente dos pases de rastra de 36 discos, luego un proceso de nivelación y finalmente un pase de surcadora de tres dientes.

La plantación fue estructurada en tres unidades llamadas repetición o réplica, cada una compuesta de 18 surcos de una longitud promedio de 105 m, espaciados a 1,00 m, en los que se colocaron las cintas de goteo; entre réplicas se dejó una superficie de 1,00 m de ancho para independizarlas.

En la cabecera y al final de la parcela se construyó una zanja drenaje con la finalidad de evacuar los excesos de agua que se produzcan por reparaciones y/o por apertura de las salidas de las cintas de goteo para el proceso de limpieza y lavado y por lluvias.

Transplante y resiembra

Las actividades inherentes a semillero y manejo del mismo las hizo el productor, de acuerdo a la forma en que se realiza en la zona, para lo cual se conformaron canteros y se regaron por gravedad.

El material vegetal sembrado fue el híbrido Camelot en segunda generación (F_2), el que estuvo en semillero aproximadamente dos meses, practicándole una poda en ese tiempo. Las plántulas fueron sembradas sobre el surco, en hileras separadas 100 cm y una distancia entre plantas, en la hilera, de aproximadamente 32 cm, obteniéndose una densidad promedio de 30.680 plantas/ha.

Días después del transplante se realizó una resiembra para reemplazar las plantas muertas, esta es una práctica tradicional en la zona.

Riegos de asiento

En la implementación del ensayo y para facilitar el transplante del pimentón, se consideró que el suelo debe estar a un contenido de humedad adecuado, por lo tanto se aplicaron riegos de asiento para esa etapa y luego de ella; estos riegos tuvieron como finalidad adicional facilitar el proceso manual de siembra, el cual se hace introduciendo un objeto en el suelo y transplantando a raíz desnuda. Además, se deseaba lograr una humedad adecuada, que no permita el secamiento del suelo y la formación de grietas por efecto del clima, ya que en esa época del año la velocidad del viento en el Valle es de mayor magnitud. La cantidad aplicada en esta práctica fue de 388 m³.

Fertirrigación

El riego localizado no es sólo aplicación de agua, es también aplicación multi fraccionada de los fertilizantes y es la conjunción de estos dos factores en donde reside la gran ventaja de este sistema, al ser utilizado como vehículo de una dosificación racional de estos productos. Una instalación adecuada y parámetros de riego y abonado optimizados, con dosificación de fertilizantes distribuida durante todos los días del ciclo del cultivo, según las características de la planta, permitirán

hacer un uso eficaz de la técnica, mejorando la productividad del cultivo y la calidad de la cosecha, objetivos obligados en el contexto económico actual.

La fertirrigación fue diseñada y monitoreada para aplicación diaria. Los productos usados durante el programa de fertilización a través del riego fueron Solub 13-40-13, Solub 18-18-18, Solub 15-05-30, Humus15, Nitrato de Amonio y Nitrato de Potasio solubles y Ácido Fosfórico para la limpieza de tuberías y cintas de goteo.

Cosecha

Para fines del cálculo de rendimiento de cosecha en el área experimental, se consideró una superficie de 50 m² dentro de las líneas centrales de cada uno de los seis tratamientos y las tres réplicas. Se recolectó todo lo producido en esta área seleccionada, frutos comerciales y no comerciales, luego de pesarse todos los frutos se encestaron por tamaño, siendo contados y pesados nuevamente.

Los cortes o recolección de frutos de características comerciales, en toda el área de ensayo (0,6 ha), se hicieron de acuerdo a las exigencias del comprador, clasificándose en función al tamaño como: grandes verdes, grandes maduros, medianos y pequeños. Los frutos fueron empacados y transportados en cestas plásticas medianas que llegaron a pesar hasta 18 Kg con 73 frutos, en el grupo de los grandes; se obtuvieron 11 cortes, correspondiente a 164 DDT, que fue cuando se eliminó el cultivo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El cultivo de pimentón se desarrolló entre los meses de agosto y diciembre de 2002, durante este período la evaporación fue mucho mayor que la precipitación. En el primer mes la relación precipitación/evaporación fue de 0,16, bajando en el mes de septiembre a 0,014, para luego subir fuertemente hasta 0,51 y descender en el mes de noviembre a 0,09.

La lámina bruta promedio aplicada durante el ciclo del cultivo fue 4,06 mm, durante los 128 días que se evaluó el cultivo.

El volumen de agua aplicado, medido con un contador Woltmann, fue 3.290,63 m³, equivalentes a 5.484,38 m³/ha, considerando que el área de ensayo era de 0,6 ha; el caudal promedio por riego fue de 10,94 m³/h. En las Figuras 3 y 4 se muestran los volúmenes acumulados y los caudales y volúmenes aplicados diariamente.

Figura 3. Volúmenes acumulados de agua aplicados en el riego localizado

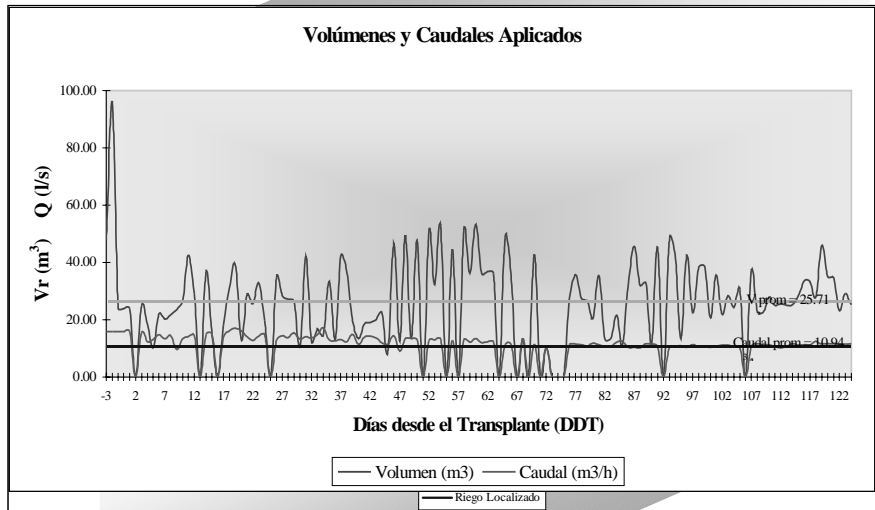


Figura 4. Volúmenes y caudales aplicados diariamente en el riego localizado

Las láminas de riego cumplían con los requerimientos del proceso evapotranspiratorio, como se aprecia en la Figura 5, la distribución de humedad en el suelo fue uniforme y no se produjeron escurrimientos superficiales; se consiguió además una adecuada estabilidad de los agregados en superficie que se evidenció al no existir agrietamientos en el suelo.

Figura 5. Lámina bruta aplicada diariamente y evaporación de la tina.

El tiempo de riego empleado para aplicar la lámina bruta, con el equipo de riego utilizado, fue de 2,10 horas en promedio. Como se explicó anteriormente, para calcular las láminas de riego aplicadas diariamente, se utilizó el modelo optimizado de Genutchen (1980) utilizando las lecturas de los tensiómetros que expresaban el potencial de agua en el suelo; en la Figura 6, se representan los tiempos y láminas diarias de riego.

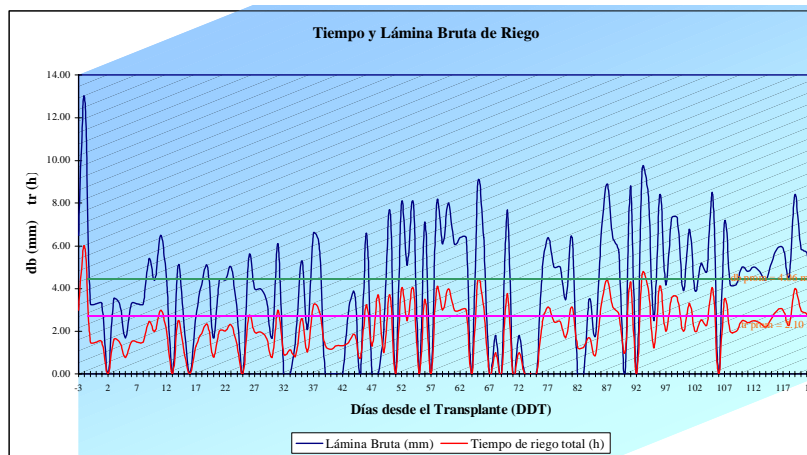
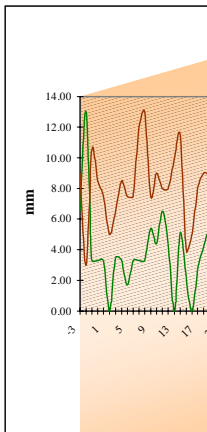


Figura 6. Tiempo y lámina bruta de riego



Al inicio de la temporada de riego, las aplicaciones de agua se hicieron con las lecturas de los tensiómetros a las 7 am, encontrándose que los valores de tensión eran relativamente altos, correspondiendo a una baja humedad y a la necesidad de altas láminas de riego. Estas láminas de agua, algunas veces eran imposibles de cumplir por los elevados tiempos de riego calculados, aunado a las condiciones propias del suelo en lo referente a infiltración.

Por esta razón se cambió la estrategia a iniciar el riego cuando las lecturas de los tensiómetros se encontraran ente 30 y 40 cb; el promedio de lecturas, para el ciclo del cultivo, fue 33,6 cb. En la Figura 7, se muestran las lecturas diarias de tensiómetros.

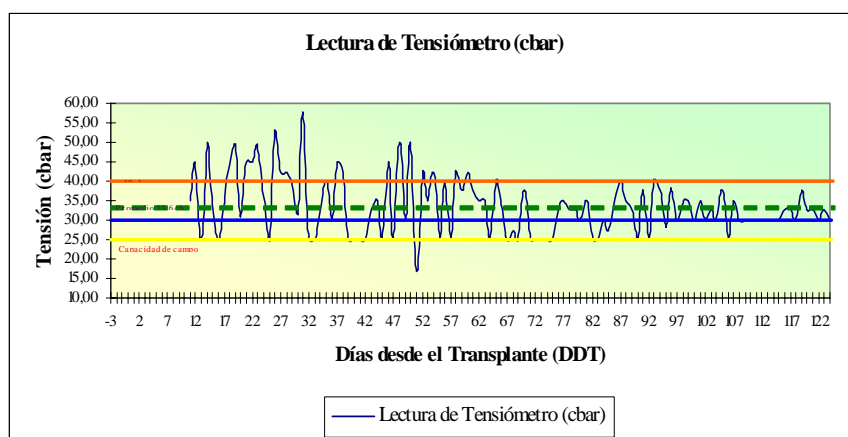


Figura 7. Potencial hídrico diario a través de tensiómetros, para el pimentón

Las variaciones del contenido gravimétrico de humedad, que se presentan en la Figura 8, son mayores en la capa más cercana a la superficie, 15 cm, la cual tiene un valor promedio de 3,04%, mientras que son menores cuando la profundidad considerada es 25 cm, con un valor promedio de variación de humedad de 1,95%.

Los contenidos de humedad antes del riego, observados en la Figura 8, son bastante uniformes si se le compara con los obtenidos después del riego; estas variaciones en el contenido de humedad fueron empleadas en la determinación de los valores de coeficiente de cultivo.

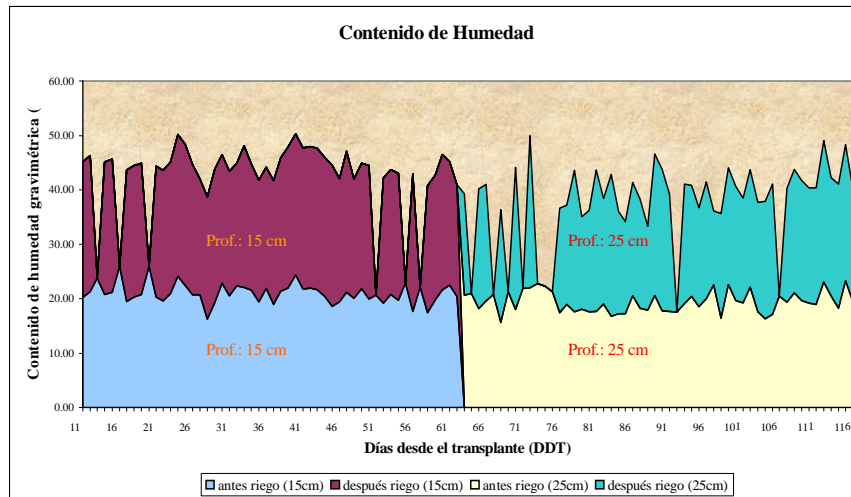


Figura 8. Variación del contenido de humedad antes y después del riego

El peso total de la cosecha registrada por el productor, en el área total de ensayo fue 26.448 Kg, en las siguientes presentaciones: 8.336 Kg de frutos grandes verdes, 4.640 Kg de frutos grandes maduros, 6.800 Kg de frutos medianos y 6.672 Kg de frutos pequeños. Esta producción total es equivalente a 44 Tn/ha en 11 cortes. Los rendimientos obtenidos por hectárea en el área efectiva del ensayo, para cada tratamiento se muestran en la Figura 9.

Rendimiento (Tn/ha)
46,0
44,0
42,0
40,0
38,0
36,0
34,0

Figura 9. Rendimiento del pimentón por tratamientos

La producción total estaba compuesta por frutos comerciales y no comerciales; este último es aquel que presentaba daños por pájaros, quemaduras, pudrición y cicatrices ocasionadas por insectos (trips). El promedio de frutos co-

merciales fue de 39,25 Tn/ha y 2,61 Tn/ha para los no comerciales. Los frutos comerciales se clasifican de acuerdo a su tamaño en: grandes, medianos y pequeños; los frutos grandes agrupan los verdes y maduros. El promedio de frutos grandes fue de 21,95 Tn/ha, equivalente a 55,94 %; frutos medianos 13,10 Tn/ha, con 33,38 % y 4,19 Tn/ha de frutos pequeños, representaron el 10,68 %. Los resultados se muestran en la Figura 10.

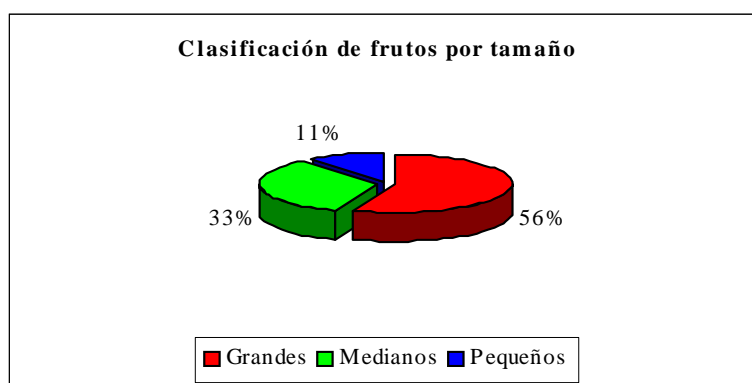


Figura 10. Clasificación de frutos por tamaño de frutos comerciales

El análisis de varianza de la producción total, comercial y no comercial, resultó no significativo (ns) para las variables producción total y producción comercial. A pesar de ser no significativo, el análisis de media para estas variables, reflejó una tendencia a una producción mayor con la aplicación de dos riegos por día, sin importar la ubicación de las cintas de goteo. La producción no comercial, fue estadísticamente significativa para el factor fraccionamiento del riego, indiferentemente a la ubicación de la cinta, reflejando esto una mayor producción de frutos no comerciales cuando se aplicó el riego una sola vez al día.

La producción promedio de frutos medianos por planta fue estadísticamente significativa para el factor ubicación, obteniéndose los mayores valores cuando la cinta fue enterrada, indiferentemente del nivel de fraccionamiento.

Del análisis estadístico se deduce que ni la ubicación ni el fraccionamiento de riego influyeron en los resultados de la producción total, pudiéndose usar indistintamente la forma de aplicación de agua en la superficie o enterrada y entregas de una, dos o tres veces por día, de acuerdo a los requerimientos del cultivo. Sin embargo, el análisis estadístico reflejó diferencias significativas para el peso total de planta, cuando la cinta se ubicó superficialmente y la suplencia de agua fue de dos veces por día.

CONCLUSIONES

El manejo del agua y la programación del riego mediante la técnica del tensiómetro se adaptó a las condiciones del suelo del Valle de Quíbor, permitiendo utilizar una de las grandes virtudes del riego localizado, como es el fraccionamiento de la entrega de agua, reponiendo diariamente las necesidades hídricas del cultivo.

En las condiciones del trabajo, las medidas del potencial matricial del suelo a 15 y 35 cm de profundidad constituyen un buen indicador de la disponibilidad de agua en el suelo y por lo cual es una herramienta eficaz para el seguimiento y operación del riego.

El adecuado conocimiento del suelo y de la distribución radicular del pimentón, son elementos fundamentales para el correcto manejo del riego

El potencial matricial de la zona del perfil a 50 cm de profundidad es el factor que define la influencia del suelo en el estado hídrico de la planta, esto es debido a la distribución en profundidad del agua de riego dada por el sistema de riego localizado y la concentración de raíces en esa parte del perfil, estimulada a su vez por la forma de aplicación del riego.

El volumen total aplicado por el método tradicional de serpentín fue 10.233,74 m³ / ha; esta cifra se compara con la cantidad de agua aplicada en la parcela experimental para la misma unidad de superficie, la cual es concluyente al demostrar el ahorro del recurso agua, ya que la relación entre el volumen aplicado en el método tradicional con respecto al riego localizado, que fue de 5.484,38 m³/ha, es de 1,866.

BIBLIOGRAFÍA

- AZEVEDO, J.A. de; SILVA, E.M. 1995 da. Tensiômetro: Dispositivo prático para controle da irrigação. [S.I.: s.n.], 26p. Contribuição da EMBRAPA/CPAC ao Curso sobre Manejo de Pivô Central: Otimização do Uso de Energia e Água, realizado na EMBRAPA/CNPAP, Goiânia, 06 a 17/ 03/95.
- GENUTCHEN, M.T. van. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.44, p. 892-898.
- HEERMANN, D.F.; MARTIN, D.L.; JACKSON, R.D.; STEGMAN, E.C. 1990. Irrigation scheduling controls and techniques. In: STEWART, B.A.;

- NIELSEN, D.R. Irrigation of agricultural crops. Madison: ASAE, p. 509- 535. (Agronomy Series, 30).
- KENNEDY JUNIOR, W.J.; GENTLE, J.E. Statistical computing. 1980, New York: M. Dekker, 591 p.
- MICROSOFT CORPORATION 2003, Office Excel 2003
- PIZARRO, F. 1987. Riegos localizados de alta frecuencia. Ediciones Mundi Prensa, Madrid
- SHYQ-C.A.,1995. Estudio Semidetallado de Suelos a Nivel de Series del Valle de Quíbor. Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado, Decanato de Agronomía, Departamento de Suelos, ASOCIUCLA, Barquisimeto.
- VILORIA, A. 1991. Respuesta de las variables de crecimiento vegetativo y reproductivo del pimentón (*Capsicum annum L.*) a la presión poblacional. Trabajo de Ascenso. Universidad Centroccidental «Lisandro Alvarado». Decanato de Agronomía. Mecanografiado. Barquisimeto. Venezuela.