

DISTRIBUCIÓN DEL FÓSFORO EN SUELO, RAÍCES Y MATERIA SECA DE TUBÉRCULOS DE PAPA CULTIVADA CON FERTIRRIEGO

Phosphorus Distribution of Soil, Roots and Potato Tuber Dry Matter Harvested in Fertigation Conditions

José Luis Aguilar-Acuña^{1†}, Jesús Martínez-Hernández², Víctor Volke-Haller², Jorge Etchevers-Barra², Horacio Mata-Vázquez³ y Miguel Hernández-Martínez¹

RESUMEN

En condiciones de invernadero, se estudió la distribución horizontal y vertical de la concentración de fósforo en el suelo (Cp), densidad de raíces, y materia seca de tubérculos, durante el período de crecimiento del cultivo de papa variedad Montserrat, en un suelo alcalino de textura migajón arcillo-arenoso con fertirriego por goteo superficial (GS) y subsuperficial (GSS). Con GS, la distribución de Cp en el suelo tuvo un patrón de movimiento hemisférico. Durante el ciclo de crecimiento, las mayores Cp y densidad radical se ubicaron cerca del emisor (10 cm), las que se incrementaron con el tiempo. Con GSS, el patrón de movimiento de Cp fue esférico o radial alrededor del emisor en el estrato de 20 a 30 cm de profundidad, y de 10 a 20 cm para densidad radical. La Cp y densidad radical disminuyeron a medida que se alejaron del emisor en ambos sistemas de goteo. Al igual que la densidad radical y la Cp, la materia seca (MS) del tubérculo fue mayor cerca del emisor en ambos sistemas de goteo. A 72 días después de la emergencia, con GS, el mayor contenido de MS del tubérculo se localizó a 10 cm de distancia vertical y lateral del emisor con 74%, de la MS total del tubérculo, mientras que, con GSS, el mayor contenido de MS del tubérculo se localizó a 10 cm de distancia vertical y lateral del emisor, y a 20 y 10 cm de distancia vertical y lateral con 26 y 47%, respectivamente. Esto significa que la distribución de la densidad radical y de los tubérculos varía en función de la concentración de P y del sistema de riego por GS y GSS.

¹ Campo Experimental Bajío, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Apartado Postal 112, 38010 Celaya, Guanajuato, México.

[†] Autor responsable (jaguilar_acuna@yahoo.com.mx)

² Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. 56230 Montecillo, estado de México.

³ Campo Experimental Sur de Tamaulipas, INIFAP. 89601 Altamira, Tamaulipas, México.

Recibido: abril de 2003. Aceptado: diciembre de 2005.

Publicado en *Terra Latinoamericana* 24: 269-276.

Palabras clave: goteo, movilidad del fósforo en el suelo, densidad radical, *Solanum tuberosum* L.

SUMMARY

Horizontal and vertical distribution of soil phosphorus concentration (Cp), root density and tuber dry matter was studied under greenhouse conditions during the growth cycle of potato, Montserrat variety, in an alkaline soil with silty clay-sandy texture with surface (SD) and subsurface drip (SSD) fertigation. With SD, the distribution of Cp in the soil had a pattern of hemispheric movement. During the growth cycle, the highest Cp and root density were located near the emitter (10 cm) that increased with time. With SSD, the pattern of Cp movement was spherical or radial around the emitter in the layer from 20 to 30 cm depth, and from 10 to 20 cm for root density. Cp and root density diminished as they moved away from the emitter in both drip systems. The same as the root density and the Cp, dry matter (DM) of the tuber was higher near the emitter in both drip systems. At 72 days after emergence, with SD, the highest content of DM of the tuber was located at 10 cm of vertical and lateral distance from the emitter with 74%, of the total DM of the tuber, while, with SSD, the highest content of DM of the tuber was located at 10 cm of vertical and lateral distance from the emitter, and from 20 to 10 cm of vertical and lateral distance with 26 and 47%, respectively. This means that the distribution of root density and of tubers varies according to the concentration of P, and SD and SSD irrigation systems.

Index words: movement of phosphorus in soil, root density, *Solanum tuberosum* L.

INTRODUCCIÓN

La aplicación de fertilizante fosfórico en suelos agrícolas en general tiene una baja eficiencia de utilización por las plantas debido a reacciones de

adsorción y precipitación, que resultan en formas de fósforo no disponibles, con poco o nulo movimiento de éste desde el sitio de contacto con el suelo (Tisdale *et al.*, 1993). Por otro lado, la baja densidad radical del cultivo de papa (Vos y Groenwold, 1986), donde 90% de las raíces se localizan en los primeros 25 cm de profundidad, contribuye a un reducido volumen de suelo explorado (Vered, 2004) y, por lo tanto, a una baja eficiencia de absorción de P.

La aplicación de fósforo superficial y subsuperficial a través de riego por goteo es un método que afecta la concentración de fósforo (Cp) en la solución del suelo, su distribución en el perfil del suelo, la densidad radical (Bar-Yosef, 1999), y, en consecuencia, la absorción de fósforo por las plantas. Un continuo suministro de fósforo a través del riego por goteo reduce el problema de la baja utilización de fósforo por las plantas, minimiza la disminución en la Cp con el tiempo, y la aplicación localizada de fósforo dentro del volumen del suelo accesible a las raíces. La colocación de los emisores bajo la superficie del suelo, en el centro del volumen radical, reduce los problemas de escasa humedad y disminución de fósforo disponible.

La concentración nutrimental en el volumen de suelo húmedo afecta el crecimiento radical y su distribución espacial y temporal en el suelo (Bar-Yosef, 1999), de tal manera que la frecuencia del fertirriego reduce el tiempo de fluctuación en la concentración nutrimental en la solución del suelo, debido a que prácticamente se mantiene constante, pero disminuye el volumen radical del suelo (Martínez-Hernández *et al.*, 1991) al reducirse el bulbo de humedecimiento.

El aumento en el uso de sistemas de riego por goteo en la agricultura ha motivado la investigación sobre la aplicación de fósforo soluble en agua a través de líneas de riego (Bacon y Davey, 1989). Sin embargo, estas investigaciones han involucrado períodos relativamente cortos (Barber, 1984).

El objetivo del presente estudio es evaluar la distribución horizontal y vertical en el suelo de los factores: a) concentración del fósforo, b) densidad de las raíces, y c) número de tubérculos, al aplicar fósforo a través del riego por goteo superficial y subsuperficial, durante el período de crecimiento del cultivo de papa, variedad Montserrat.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para cumplir con el objetivo, se estableció un experimento en condiciones de invernadero en Salinas

de Hidalgo, San Luis Potosí, México, ubicado a 22° 34' N y 101° 45' O y altitud de 2070 m. Se evaluaron dos sistemas de fertirriego: por goteo superficial y goteo subsuperficial; en este último, los goteros o emisores se enterraron a una profundidad de 20 cm. Los tratamientos se distribuyeron en un diseño experimental de bloques completos al azar con 10 repeticiones, la unidad experimental constó de un contenedor de cartón revestido con plástico negro de 0.5 m de ancho x 0.5 m de largo x 0.6 m de alto, conteniendo un suelo de textura migajón arcillo-arenoso con una densidad aparente de 1.3 Mg m⁻³ y pH 7.9. Se sembró un tubérculo de papa, variedad Montserrat de 60 g de peso, con tres brotes de 2 cm de largo, en el centro de cada contenedor, a una profundidad de 10 cm, 10 cm arriba del gotero subsuperficial y 10 cm debajo del gotero superficial.

El fertirriego por goteo superficial y subsuperficial comenzó a aplicarse diariamente a partir del día 10 después de la emergencia (DDE). Para reponer la lámina de agua evapotranspirada, se utilizó la fórmula 0.8Ev, estimada con base en el valor de la evaporación medida en el tanque tipo A (Tijerina, 1999). Las concentraciones utilizadas de N, P y K elementales se presentan en el Cuadro 1; los fertilizantes solubles en agua utilizados fueron: nitrato de amonio (33.5% N), nitrato de potasio (12% N, 2% P₂O₅ y 44% K₂O) y ácido fosfórico a 85% de concentración de H₃PO₄.

Se realizaron muestreos destructivos de plantas a 24, 37, 47, 59 y 72 DDE, que correspondieron a las etapas fenológicas: desarrollo (10 a 25 DDE), floración (26 a 38 DDE), tuberización inicial (39 a 47 DDE), y tuberización intermedia (48 a 72 DDE). Junto con el muestreo de plantas se realizó un muestreo de suelos, éste consistió de monolitos (Böhm, 1979) de 10 cm de largo x 10 cm de ancho x 10 cm de profundidad, hasta 30 y 40 cm de distancia horizontal y vertical partir

Cuadro 1. Concentración de N, P y K aplicados en fertirriego por goteo superficial y subsuperficial.

Fecha †	Intervalo DDE ‡	Dosis		
		N	P	K
		- - - - mg L ⁻¹ - - - -		
02/09 - 17/09	10 a 25	50	30	75
18/09 - 30/09	26 a 38	100	60	150
01/10 - 09/10	39 a 47	150	60	200
10/10 - 25/10	48 a 63	150	60	250
26/10 - 28/10	64 a 66	100	60	200

† Día y mes. ‡ Día después de la emergencia.

del centro de cada contenedor. Las raíces y tubérculos encontrados en cada monolito se lavaron para separarlos del suelo, se usaron tamices de Malla 20 para recuperar las raíces durante el lavado. Posteriormente, se secaron en estufa con circulación forzada de aire a 65 °C durante 72 h. Parte de los monolitos se envió al laboratorio para determinar P Olsen (Bar-Yosef y Akiri, 1978). Para la distribución en contornos de Cp y la densidad radical se utilizó el programa Surfer (1987).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Distribución del Fósforo en el Suelo

La Cp disponible en el suelo se incrementó con el tiempo al aplicarse fósforo periódicamente, lo que concuerda con los resultados de Bacon y Davey (1989) en condiciones de riego por goteo. El incremento fue mayor con fertirriego subsuperficial que con fertirriego superficial (Cuadro 2).

La Cp en el perfil del suelo varió en función del método de fertirriego utilizado. Con riego superficial, el fósforo se movió en un patrón hemisférico y, con goteo subsuperficial, el movimiento fue esférico o radial alrededor del emisor (Figura 1), lo cual coincide con los resultados obtenidos por Phene y Howell (1984).

Con ambos sistemas de fertirriego por goteo, el movimiento del fósforo se incrementó a través del tiempo desde el punto de emisión. La aplicación localizada y continua de fósforo al suelo mediante goteo superficial y subsuperficial durante el periodo de crecimiento del cultivo de papa evitó la disminución de la Cp con el tiempo (Phene y Howell, 1984).

Cuadro 2. Concentración promedio de fósforo Olsen en el suelo hasta 40 cm de profundidad y 30 cm de distancia lateral a partir del centro superficial de cada maceta, en dos sistemas de fertirriego por goteo y cinco fechas de muestreo.

Muestreo DDE [†]	Concentración de P Olsen	
	Goteo superficial	Goteo subsuperficial
	- - - mg de P kg ⁻¹ de suelo - - -	
24	30.7 b [‡]	38.2 a [‡]
37	34.6 b	44.8 a
47	54.5 b	65.5 a
59	61.8 a	62.9 a
72	59.7 b	71.8 a
Promedio	48.3 b [§]	56.6 a

[†] Días después de la emergencia. [‡] Cifras con la misma letra entre columnas en la misma línea son estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$). [§] Cifras con la misma letra entre promedios son estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$).

Los sitios de reacción del complejo de intercambio aniónico del suelo se saturaron poco a poco cerca del emisor por difusión de P (Barber, 1984; Marschner, 2003) en el bulbo húmedo (Figura 1). En esta figura, se muestra un incremento a través del tiempo de la Cp en el suelo a 24, 37, 47, 59 y 72 DDE desde el sitio de emisión con ambos métodos de fertirriego. Con goteo superficial, las mayores Cp, que fueron 50, 55, 90, 100 y 100 mg P kg⁻¹ de suelo, ocurrieron cerca del emisor y con fertirriego subsuperficial cuyas Cp fueron 55, 70, 100, 100 y 110 mg P kg⁻¹ de suelo, a 24, 37, 47, 59 y 72 DDE, respectivamente (Figura 1). Las mayores concentraciones inicial y final se observaron con fertirriego subsuperficial. Estos resultados concuerdan con los de Bacon y Davey (1989), quienes encontraron que la disponibilidad de P incrementó hasta 40 cm de profundidad, y el volumen de suelo conteniendo más fósforo disponible incrementó con las dosis de aplicación crecientes. Sin embargo, los resultados difieren de los reportados por Papadopoulos (1992), quien observó que, al aplicar 40 mg P L⁻¹, en el cultivo de papa no provocó acumulación de fósforo en el perfil de un Vertisol pélico en el momento de la cosecha.

Las altas Cp en el bulbo húmedo, observadas durante el ciclo de cultivo en ambos sistemas de fertirriego, pueden regularse disminuyendo la concentración de la solución en el riego. Las altas Cp encontradas en la superficie del suelo a través del tiempo se atribuyen al movimiento capilar y a la evaporación, las cuales son mayores con fertirriego por goteo superficial que por goteo subsuperficial (Figura 1).

Distribución de la Densidad Radical de Papa Variedad Montserrat

La densidad radical incrementó a través del tiempo en goteo superficial y permaneció constante entre 37 y 59 DDE (Cuadro 3). En fertirriego subsuperficial disminuyó la densidad radical a 59 DDE debido a la falta de suministro de agua y nutrientes ocasionado por el taponamiento del emisor. La aplicación de fósforo por goteo subsuperficial incrementó la densidad radical en 13% en promedio con respecto al goteo superficial, incidiendo en una mayor proliferación de raíces activas en la zona del bulbo húmedo, lo que, según Haynes (1985), se debe al suministro de agua y nutrientes en forma continua.

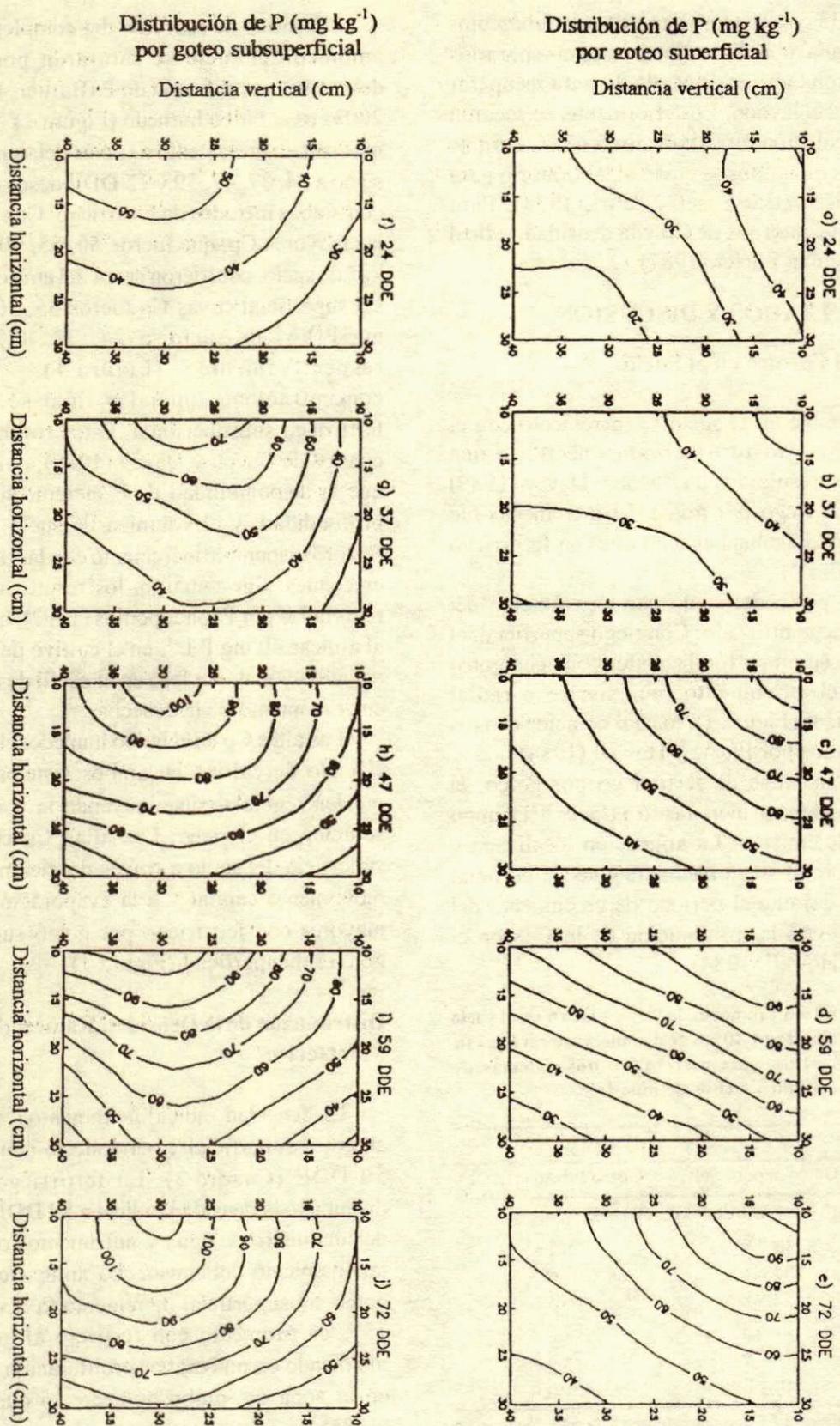


Figura 1. Distribución de la concentración de fósforo en el suelo a través del tiempo (en DAE), con goteo superficial y subsuperficial a partir del emisor.

En los dos sistemas de fertirriego, la mayor densidad radical ocurrió cerca del emisor y ésta disminuyó con la distancia, tanto horizontal como verticalmente (Figura 2).

La distribución de la densidad radical a lo largo del período de crecimiento del cultivo de papa también mostró diferencias entre los dos sistemas de fertirriego. Ésta siguió la distribución de la concentración de fósforo en el suelo, estos resultados se asemejan a los de Bar-Yosef y Lambert (1981). Con fertirriego superficial, la mayor densidad radical ocurrió en el estrato superior (0 a 10 cm) cerca del emisor, la que se incrementó con el tiempo desde 24 hasta 72 DDE al pasar de 40 y 90 μg de raíz cm^{-3} de suelo a 400 y 1000 μg de raíz cm^{-3} de suelo (Figura 2). Con fertirriego subsuperficial, la mayor densidad radical se ubicó en el estrato de 10 a 20 cm, por arriba del emisor. Ésta se incrementó durante el ciclo de crecimiento, desde 24 hasta 72 DDE, al pasar de 30 y 70 μg de raíz cm^{-3} de suelo a 500 a 900 μg de raíz cm^{-3} de suelo, pero disminuyó en forma radial a medida que se alejan del emisor (Figura 2). Martínez-Hernández *et al.* (1991), al evaluar las diferencias entre el fertirriego por goteo superficial y subsuperficial con respecto a la distribución de la densidad radical (g de raíz seca kg^{-1} de suelo seco) de maíz dulce, encontraron que ésta disminuyó con el incremento de la distancia vertical o lateral del emisor.

Este comportamiento pudo deberse a que el desarrollo de la raíz hacia la fuente de agua fue mayor en comparación con el desarrollo de la raíz en otras direcciones, como lo señalaron Silva *et al.* (1991) y Ruiz (2000): a mayor volumen de suelo mojado, mayor desarrollo de raíces. El régimen de aplicación de agua de riego por goteo tuvo, por lo tanto, un efecto determinante sobre el desarrollo del sistema radical. Según Glenn (2000), las raíces que crecen en la porción humedecida del suelo funcionan como el principal tejido

de absorción de nutrimentos, agua y de producción de hormonas.

La aplicación de fósforo con riego por goteo superficial y subsuperficial afecta la concentración de este elemento en el espacio y en el tiempo, así como su distribución en el suelo y, en consecuencia, la distribución de la densidad radical, lo que repercute en la fisiología de la raíz. Las raíces confinadas que crecen en un volumen limitado por el fertirriego por goteo son menos activas, por lo que una mayor cantidad de carbohidratos pueden ser dirigidos para la obtención del producto de la cosecha (Bar-Yosef *et al.*, 1988).

Distribución de la Materia Seca de Tubérculos

El peso seco de tubérculos a la cosecha fue mayor en el sistema de fertirriego superficial que en el subsuperficial, con 195 y 174 g planta⁻¹, respectivamente (Cuadro 3). Con fertirriego subsuperficial, la tasa absoluta de crecimiento del peso seco diario del tubérculo a 72 DDE fue 25% más (10.2 g planta⁻¹ d⁻¹) en comparación con el obtenido con fertirriego superficial (8.14 g planta⁻¹ d⁻¹).

Al igual que la densidad radical y la C_p , la materia seca del tubérculo fue mayor cerca del emisor en ambos sistemas de fertirriego (Cuadro 4). En el tratamiento con fertirriego por goteo superficial, el mayor peso seco del tubérculo se localizó a 10 cm de distancia vertical y horizontal del emisor, con 74% del peso seco total del tubérculo a 72 DDE. Con fertirriego por goteo subsuperficial, el mayor peso seco del tubérculo se localizó a 20 y 10 cm de distancia vertical y horizontal del emisor, respectivamente, con 47% del peso seco total del tubérculo, y a 10 cm de distancia vertical y horizontal del emisor, respectivamente, con 26%. Esto significa que la distribución de los tubérculos en el suelo varía en función del sistema de fertirriego empleado.

Cuadro 3. Distribución promedio de la densidad radical y peso seco del tubérculo hasta 40 cm de profundidad y 30 cm de distancia lateral, en dos sistemas de fertirriego y cinco fechas de muestreo.

Muestreo DDE [†]	Goteo superficial		Goteo Subsuperficial	
	Densidad radical (μg de raíz cm^{-3} de suelo)	Peso seco del tubérculo g planta ⁻¹	Densidad radical (μg de raíz cm^{-3} de suelo)	Peso seco del tubérculo g planta ⁻¹
24	24.6 a [‡]		19.1 a [‡]	
37	179.7 b	0.03 a [‡]	205.2 a	2.4 a [‡]
47	176.2 b	20.20 a	247.2 a	16.2 b
59	178.6 a	89.10 a	136.5 b	41.4 b
72	183.4 b	194.90 a	232.8 a	174.1 b

[†] Días después de la emergencia. [‡] Cifras con la misma letra entre columnas de la misma variable y en la misma línea son estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$).

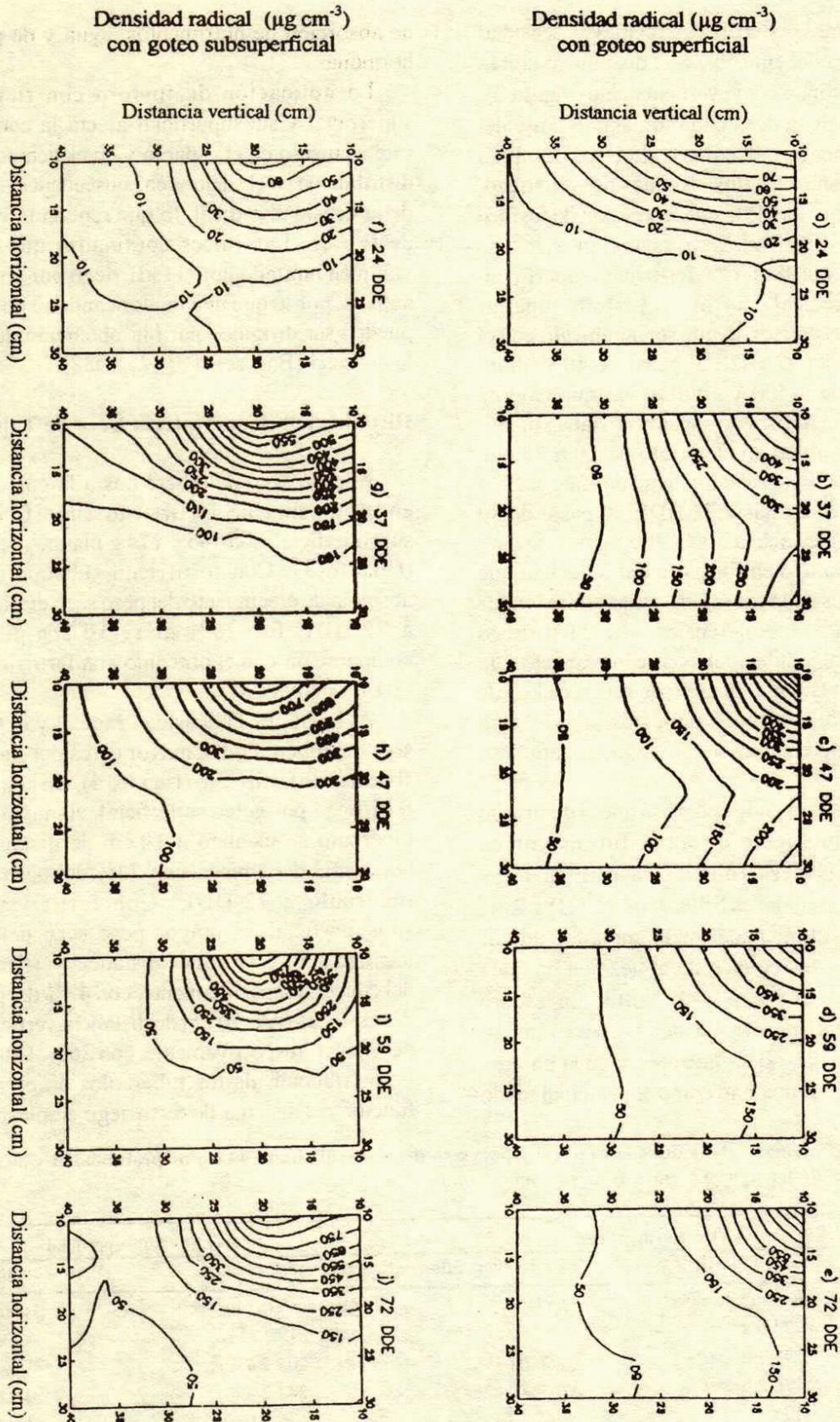


Figura 2. Distribución de la densidad radical de papa en el suelo, a través del tiempo (en DDE), con goteo superficial y subsuperficial a partir del emisor.

Cuadro 4. Distribución vertical y horizontal de la materia seca y número de tubérculos por planta de papa variedad Montserrat, con dos sistemas de fertirriego por goteo y cuatro fechas de muestreo.

Muestreo DDE [†]	Distribución en el suelo		Goteo superficial		Goteo subsuperficial	
	Vertical	Horizontal	Materia seca del tubérculo	Número de tubérculos	Materia seca del tubérculo	Número de tubérculos
	----- cm -----		g planta ⁻³		g planta ⁻³	
37	10	10	0.14 a [‡]	0.50 b [‡]	1.72 a [‡]	3.50 a [‡]
		20	0.08 a	0.25 a		
		30				
	20	10	0.08 a	0.50 b	0.19 a	3.50 a
		20				
		30				
47	10	10	5.40 a	2.50 a	0.84 b	1.50 b
		20	5.30 a	1.50 a	0.93 b	0.75 a
		30	1.40 b	1.00 a	13.21 a	0.75 a
	20	10	8.10 a	5.00 b	0.37 b	16.00 a
		20			0.84 a	0.25 a
		30				0.25 a
59	10	10	53.90 a	20.75 a	21.60 b	7.00 b
		20	13.20 a	3.25 a	0.40 b	0.25 b
		30	2.30 a	0.50 a		
	20	10	17.50 a	5.00 b	18.60 a	8.50 a
		20			0.80 a	1.00 a
		30	2.20 a	0.25 a		
72	10	10	144.00 a	17.0 a	45.20 b	5.00 b
		20	26.70 a	2.0 b	14.70 b	11.50 a
		30	24.20 a	2.0 a	9.40 b	0.50 a
	20	10			81.20 a	10.50 a
		20				
		30			23.60 a	1.88 a

[†] Días después de la emergencia. [‡] Cifras con la misma letra entre columnas de la misma variable y en la misma línea son estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$).

Distribución del Número de Tubérculos

El número de tubérculos en el tratamiento con fertirriego superficial a 59 DDE incrementó a 30; sin embargo, a 72 DDE esta cantidad disminuyó a 21, posiblemente debido a que los tubérculos más pequeños se reabsorbieron y los fotosintatos se translocaron hacia los más grandes o a otras partes de la planta. A 72 DDE, el mayor número de tubérculos se concentró en los primeros 10 cm de distancia vertical y horizontal del emisor, con 81% (Cuadro 4).

Con fertirriego subsuperficial, el número de tubérculos disminuyó de 20 a 17, debido, posiblemente, a que los tubérculos más pequeños se reabsorbieron (Manrique, 1993), o bien, a que las plantas muestreadas efectivamente tenían menor número de tubérculos que

las anteriores. A 72 DDE, el número de tubérculos incrementó a 29. El mayor porcentaje de tubérculos se distribuyó en los cuadrantes 20 x 10, 10 x 20 y 10 x 10 cm en sentido vertical y horizontal, respectivamente, con 36, 37 y 17% (90%) con referencia al número total de tubérculos (Cuadro 4). Aunque el número total de tubérculos fue mayor que con goteo superficial, el tamaño de los mismos fue más pequeño, debido, probablemente, al taponamiento de los goteros a 47 y 59 DDE (Aguilar-Acuña *et al.*, 2001), lo que limitó su crecimiento.

CONCLUSIONES

- La aplicación de fósforo a través de fertirriego por goteo superficial y subsuperficial es un método que afecta la distribución del elemento en el suelo, la densidad radical

y de los tubérculos de papa. La concentración de fósforo fue mayor cerca del emisor superficial o subsuperficial, y fue disminuyendo a medida que se alejaba del emisor en forma hemisférica y esférica, respectivamente.

- La concentración de fósforo en el suelo a 72 DDE y cerca del emisor resultó mayor con fertirriego subsuperficial que con fertirriego superficial, 110 y 100 mg kg⁻¹ de suelo, respectivamente. Estas altas Cp pueden regularse disminuyendo la concentración de la solución en el riego.

- La densidad radical con fertirriego superficial se localizó en los primeros 10 cm de suelo, y fue disminuyendo con la distancia vertical y horizontal. Con fertirriego subsuperficial, la mayor densidad radical se localizó entre 10 y 20 cm de profundidad, encima del emisor, y fue disminuyendo en forma esférica o radial con la distancia vertical y horizontal.

- La distribución de los tubérculos varió en función del sistema de fertirriego empleado. Con goteo superficial, a 72 DDE el peso seco de los tubérculos fue 74% con respecto al peso seco total, en los primeros 10 cm de distancia vertical y horizontal del emisor. Con goteo subsuperficial, se distribuyó 26 % en los primeros 10 cm de profundidad y de distancia horizontal y 47% en el cuadrante 20 x 10 cm en sentido vertical y horizontal, respectivamente.

- La aplicación del fertirriego por goteo subsuperficial obliga a la raíz a crecer más profundo, lo que le da más soporte a la parte aérea y permitiría aplicar menor cantidad de P y otros nutrimentos directamente en la zona activa de raíces, con la consiguiente mayor eficiencia de recuperación nutrimental.

LITERATURA CITADA

- Aguilar-Acuña, J. L., J. J. Martínez-Hernández, V. Volke-Haller, J. Etchevers-Barra, P. Sánchez-García y R. Aveldaño-Salazar. 2001. Acumulación y distribución de la materia seca en papa cultivada con fertigación por goteo superficial y subsuperficial. *Rev. Fitotec. Mex.* 24: 9-16
- Bacon, P. E. y B. G. Davey. 1989. Nutrient availability under trickle irrigation - phosphate fertilization. *Fert. Res.* 19: 159-167.
- Barber, S. A. 1984. Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach. John Wiley. Lafayette, IN, USA.
- Bar-Yosef, B. 1999. Advances in fertigation. *Adv. Agron.* 65: 1-77.
- Bar-Yosef, B. y B. Akiri. 1978. Sodium bicarbonate extraction to estimate nitrogen, phosphorus and potassium availability in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 319-323.
- Bar-Yosef, B. y J. R. Lambert. 1981. Corn and cotton root growth in response to soil impedance and water potential. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45: 930-935.
- Bar-Yosef, B., S. Schwartz, T. Markovitch, B. Lucas y R. Assaf. 1988. Effect of root volume and nitrate solution concentration on growth, fruit yield and temporal N and water uptake rates by apple trees. *Plant Soil* 107: 49-56.
- Böhm, W. 1979. Methods of studying root system. Springer Verlag. Berlin, Germany.
- Glenn, D. M. 2000. Physiological effects of incomplete root zone wetting on plant growth and their implications for irrigation management. *HortScience* 35: 1041-1043.
- Haynes, R. J. 1985. Principles of fertilizer use for trickle irrigated crops. *Fert. Res.* 6: 235-255.
- Manrique, L. A. 1993. Constraints for potato production in the tropics. *J. Plant Nutr.* 16: 2075-2120.
- Marschner, H. 2003. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. Academic Press. Suffolk, Great Britain.
- Martínez-Hernández, J. J., B. Bar-Yosef y U. Kafkafi. 1991. Effect of surface and subsurface drip fertigation on sweet corn rooting, uptake, dry matter production and yield. *Irrigation Sci.* 12: 153-159.
- Papadopoulos, I. 1992. Phosphorus fertigation of trickle-irrigated potato. *Fert. Res.* 31: 9-13.
- Phene, C. J. y T. A. Howell. 1984. Soil sensor control of high frequency irrigation. *Trans ASAE* 27: 392-396.
- Ruiz, R. 2000. Dinámica nutricional en cinco parrones de diferente productividad del valle central regado de Chile. *Agric. Téc. (Chile)* 60: 379-398.
- Silva, H., R. Honorato y C. Bonomelli. 1991. Crecimiento radical y desarrollo de la vid variedad Thompson Seedless. *ACONEX* 34: 14-21.
- Surfer. 1987. Surfer V 3.0. Golden Software, Inc. Golden, Colorado.
- Tijerina-Chávez, L. 1999. Requerimientos hídricos de cultivos bajo sistemas de fertirrigación. *Terra* 17: 237-245.
- Tisdale, S. L., W. L. Nelson, J. D. Beaton y J. H. Havlin. 1993. Soil fertility and fertilizer. 5th ed. MacMillan. New York, NY, USA.
- Vered, E. 2004. Growing potatoes under drip irrigation. URL: <http://www.netafim.com/business_division/agriculture/new_trends>
- Consulta: 25 de noviembre.
- Vos, J. y J. Groenwold. 1986. Root growth of potato crops on a marine-clay soil. *Plant Soil* 94: 17-33.