

DISTRIBUCIÓN DE CATIONES EN EL BULBO HÚMEDO DEL FERTIRRIEGO EN EL CULTIVO DE PIMENTÓN (*Capsicum annuum* L.) CON CINTAS DE GOTEO.

Jacqueline Romero-Palomares¹, Luis Razuri-Ramírez², Clifford Peña³, Edgar Romero³

¹Programa de Ingeniería de la Producción Agropecuaria, UNESUR, Santa Bárbara de Zulia, romeroj@unesur.edu.ve. ²Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial-ULA, Apartado Postal 219, Mérida, razuri@ula.ve. ³Instituto de Investigaciones Agropecuarias-ULA, Apartado Postal 77, Mérida, clifford@ula.ve, edroca@ula.ve.

RESUMEN

Los programas de fertirrigación deben intentar restituir las cantidades extraídas por el cultivo en cada estado de desarrollo. Para determinar la distribución de los cationes Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ en el bulbo húmedo en el cultivo de pimentón, aplicando fertirriego con cintas de goteo, se expusieron doce perfiles del sistema radical, en cuatro etapas fenológicas del cultivo, y se procedió a la extracción de muestras de suelo del perfil del bulbo, que fueron analizadas en laboratorio. Todas las plantas de pimentón recibieron el mismo tratamiento en cuanto a fertirrigación. Los resultados mostraron que en los perfiles se detalla un movimiento horizontal de los iones Calcio, Sodio, Magnesio y Potasio, que la concentración de iones estuvo vinculada esencialmente a su aporte en el agua del riego, y que la distribución estuvo condicionada por la absorción de nutrientes por parte de la planta.

Palabras clave: fertirrigación, pimentón, distribución, bulbo húmedo, cationes, cintas de goteo.

INTRODUCCIÓN

La movilidad de los iones en el suelo es importante porque condiciona el manejo de la nutrición de un cultivo. Las fuerzas que regulan esta distribución son la convección y la difusión, y la distribución será muy diferente cuando un nutriente no es adsorbible, de otros nutrientes sujetos a fuerzas de retención por los coloides del suelo. Jasso-Chaverría *et al* (2001), observando la distribución de iones en el bulbo húmedo del suelo como producto del fertirriego por goteo, encontraron que el ión Na^+ se lixivió con mayor facilidad, concentrándose en los límites del bulbo húmedo, en tanto que los iones Ca^{2+} y Mg^{2+} , de mayor interacción con el suelo, se concentraron cerca del emisor, mientras el ión K^+ tuvo movilidad vertical y lateral en el bulbo de humedecimiento. En general, la distribución irregular de nutrientes en la zona del bulbo húmedo donde proliferan las raíces parece no ser muy adecuado. Sin embargo, las evidencias demuestran que las plantas se adaptan perfectamente a estas condiciones de variabilidad espacial y de concentración de nutrientes por dos mecanismos, a) aumentando la tasa de absorción por unidad de raíz en la zona enriquecida y b) por una mayor proliferación radicular en la zona del bulbo húmedo. Así, al

menos en parte, las plantas ajustan su distribución radicular y patrón de absorción de nutrientes para compensar una distribución desuniforme de nutrientes dentro de la zona potencialmente explorable por raíces. El efecto de esta distribución desuniforme utilizando riego por goteo no es demasiado grande y en particular cuando se aplican dosis suficientemente altas de nutrientes. Bajo los sistemas de riego por goteo o emisores, la distribución espacial de la humedad, y consecuentemente de las raíces, está restringida a un pequeño volumen de suelo directamente debajo del emisor. Tal restricción tiene importantes implicaciones para una óptima ubicación de los fertilizantes. El empleo de riegos localizados de alta frecuencia modifica la ubicación de los iones en el suelo; su distribución en el perfil es una consecuencia del régimen de humedad. La alta frecuencia de los riegos propicia un régimen hídrico que facilita la absorción de agua por el doble efecto de mantener alta la humedad y baja la salinidad en la zona de mayor actividad radical. Por lo tanto, el objetivo que contempló esta investigación fue determinar la distribución de cationes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+), en el bulbo de humedecimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en la Estación Experimental del Instituto de Investigaciones Agropecuarias de la Universidad de Los Andes, en San Juan de Lagunillas, estado Mérida, en una parcela con una superficie de 2511,8 m², que estuvo dividida en dos sub-unidades de riego, la población total del ensayo fue de 6280 plantas. Los suelos pertenecen a lavas torrenciales de la formación La Quinta, de muy superficiales a sub-superficiales, clasificados taxonómicamente como Typic Haplocambid, franco fino micaceo, isohipertérmico. El análisis físico del suelo determinó que su textura es Franco Arcillo Arenosa, y el análisis químico del suelo previo al ensayo arrojó valores altos de Calcio (670 mg kg⁻¹), valores medio de Potasio (59 mg kg⁻¹) y valores bajo de Magnesio (38 mg kg⁻¹). Para la toma de muestras de suelo, se seleccionaron tres hilos de riego, ubicados en los extremos y centro de la sub-unidad 1; por cada hilo se expusieron cuatro perfiles del sistema radical, en cuatro etapas diferentes del cultivo, de aproximadamente 50 cm de ancho, 50 cm de largo y 50 cm de profundidad, los que tenían como referencia el bulbo húmedo producido por el gotero de la cinta de riego; muestreándose en total doce perfiles durante todo el ciclo del cultivo. Todas las plantas de pimentón recibieron el mismo tratamiento en cuanto a fertirrigación, que consistió en aplicarle los fertilizantes a través del agua de riego, utilizando una bomba hidráulica de inyección, recibiendo en total, durante el ciclo del cultivo, 156,94 kg ha⁻¹ de N₂, 82,70 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y 104,68 kg ha⁻¹ de K₂O. En el bulbo húmedo, se procedió a la extracción de muestras de suelo donde se trazó una cuadrícula. De cada punto (intersección de la cuadrícula) se tomó una muestra de suelo, después de culminado el riego del día. Las muestras de suelo fueron colocadas primeramente en bolsas plásticas, en el momento de su toma en el campo, posteriormente llevadas al salón donde se pasaron a bolsas de papel y colocadas bajo sombra y se esperó a que se secaran para posteriormente tamizarlas y así eliminar los fragmentos de roca presentes en el suelo, para luego ser analizadas en laboratorio y determinar: Calcio, Magnesio, Sodio y Potasio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 1, se observa, a los 80 días después del transplante (DDT), una mayor concentración del ión Ca^{+2} hacia los lados del bulbo húmedo, mientras que cerca del emisor y en el lado derecho inferior del bulbo se consigue una disminución en la concentración del ión Ca^{+2} . A los 87 DDT la mayor concentración del ión Ca^{+2} se consigue en el lado izquierdo del bulbo de humedecimiento, mientras hacia el lado derecho va disminuyendo paulatinamente. A los 93 DDT, al contrario del anterior, la mayor concentración del ión Ca^{+2} se observa en el lado derecho del bulbo, disminuyendo dicha concentración hacia el lado izquierdo del bulbo. A los 103 DDT se encuentra la mayor concentración del ión Ca^{+2} cerca del emisor y en la parte superior del bulbo húmedo, mientras en el resto del mismo la concentración del calcio ha disminuido. De acuerdo a Jasso-Chaverría *et al* (2001), el ión Ca^{+2} se desplaza mediante el flujo de masas con el agua de riego lo cual implica una gran movilidad de este elemento hacia el sistema radical. Además Sánchez (2000), indica que la absorción y transporte iónico del calcio se realiza por dos mecanismos, uno es la interceptación radical, que sugiere que las raíces entran en contacto con el ión calcio, mientras el otro mecanismo es el flujo de masas, que consiste en que el ión calcio es movilizado de la solución del suelo a la raíz de la planta en función de la transpiración. Por otra parte la difusión solo puede ocurrir cuando la tasa de absorción de calcio por el sistema radical de la planta es superior a la tasa de suplencia por flujo de masas, llegando a establecerse un gradiente de concentración entre el suelo y la raíz. Pero el principal mecanismo de transporte de calcio del suelo es el flujo de masas debido a su relativa alta concentración en la solución del suelo, y generalmente la tasa de transporte de calcio hacia las raíces supera la tasa de absorción por la planta. En este caso el mecanismo que prevalece para el movimiento del Calcio a través del bulbo es el flujo de masas, ya que se observa que durante el período de muestreo (80 a 103 DDT) ocurrió una elevada demanda de agua por parte del cultivo.

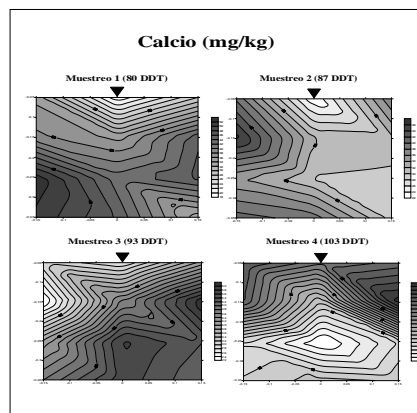


Figura 1. Concentración de Calcio (mg kg^{-1}).

En la figura 2, se observa a los 80 DDT una alta presencia del ión K^{+} en la mitad superior del bulbo, mientras en la mitad inferior se detalla la progresiva disminución de la concentración del elemento. A los 87 DDT la mayor concentración del ión K^{+} se presenta hacia el lado superior izquierdo, mientras en el resto del bulbo se consigue disminución en la concentración del potasio. Nuevamente a los 93 DDT la mayor concentración del ión K^{+}

se consigue en la mitad superior del bulbo, disminuyendo la misma en la mitad inferior. Mientras a los 103 DDT la mayor presencia de potasio se observa en el lado superior izquierdo, dándose entonces una disminución de la concentración del potasio en el resto del bulbo. En la representación de los perfiles, se detalla que los valores más altos del potasio se detectaron en el punto más próximo al emisor y en los primeros centímetros de profundidad, tal como lo reportan las investigaciones realizadas por Baena *et al* (2003). Además, Hidalgo *et al* (2003) consiguieron resultados que revelan un considerable movimiento en el perfil del suelo del K aplicado en fertirrigación, produciéndose un enriquecimiento significativo del contenido de K en la zona humedecida por el riego. Debido a que el potasio es menos móvil que el nitrato, su distribución en el suelo puede ser más uniforme ya que se distribuye lateralmente y en profundidad simétricamente cuando es aplicado a través del riego por goteo. A su vez la saturación gradual de los sitios de intercambio y fijación del suelo propicia el movimiento de nutrientes a capas más profundas. En este sentido, Uriu *et al* (1980), Klein y Spieler (1987), reportan que los iones que interactúan más activamente con el suelo son retenidos cerca del punto de descarga de los emisores.

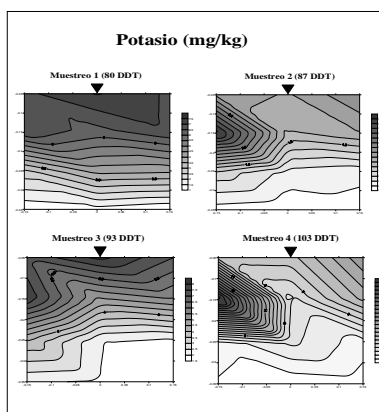


Figura 2. Concentración de Potasio (mg kg^{-1}).

En la figura 3, se detallan los perfiles de distribución del ión Mg^{2+} . Se observa a los 80 DDT que la menor concentración del ión Mg^{2+} se ubica en el lado inferior derecho del perfil del bulbo, dándose una mayor presencia del mismo en el resto del bulbo. A los 87 DDT la mayor presencia del ión se encuentra en el lado superior izquierdo del perfil del bulbo, disminuyendo la concentración del Magnesio en el resto del perfil. A los 93 DDT la mayor presencia del ión se consigue hacia el lado derecho del perfil del bulbo mientras va disminuyendo la concentración de Magnesio por abajo del emisor y el lado izquierdo del perfil. Mientras a los 103 DDT se detalla una alta concentración de Magnesio en el lado superior derecho del bulbo, disminuyendo la presencia del mismo en el resto del bulbo. En la representación gráfica de los perfiles del ión Magnesio, se detalla que éste se desplaza mediante el flujo de masas con el agua de riego, lo cual implica una gran movilidad del elemento hacia el sistema radical, según lo indican Jasso-Chaverría *et al* (2001). Se observa que la concentración de los iones de Mg^{2+} está vinculada esencialmente a su aporte en el agua de riego, mientras que su distribución está condicionada por la absorción de nutrientes por la planta, de acuerdo a lo que reportan Jasso-Chaverría *et al* (2001).

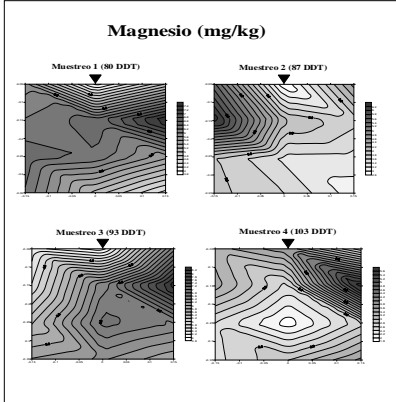


Figura 3. Concentración de Magnesio (mg kg^{-1}).

En cuanto a la figura 4, que presentan los perfiles de distribución del ión Na^+ se observa que a los 80 DDT se consigue una alta concentración del ión Na^+ en la mitad inferior del perfil del bulbo, así como cerca del emisor. A los 87 DDT se observa una mayor presencia del ión Na^+ hacia el fondo del bulbo húmedo, disminuyendo la concentración del mismo en el resto del perfil del bulbo. A los 93 DDT casi todo el perfil del bulbo presenta una baja concentración del ión Na^+ , solo se observa una elevada concentración hacia el centro del fondo del bulbo húmedo. A los 103 DDT se detalla que en la mitad superior del bulbo se consigue la mayor concentración del ión Na^+ , mientras en la mitad inferior va disminuyendo progresivamente la concentración de Sodio. Jasso-Chaverría *et al* (2001), encontraron que los iones Na^+ , Cl^- y NO_3^- se lixiviaron con mayor facilidad, concentrándose en los límites del bulbo húmedo, e indican que predominantemente los iones NO_3^- , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} y H_2BO_3^- se desplazan mediante el flujo de masas con el agua de riego, lo cual implica una gran movilidad de estos elementos hacia el sistema radical. En la gráfica de los perfiles se detalla el desplazamiento de la concentración del ión Sodio, en sentido vertical, lo que evidencia lo anteriormente indicado, y es que el movimiento de dicho ión está supeditado al flujo de masas, por efecto del agua de riego.

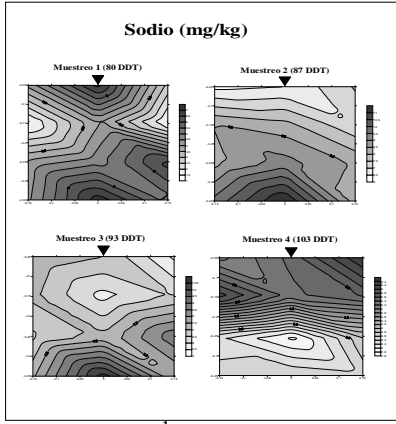


Figura 4. Concentración de Sodio (mg kg^{-1}).

CONCLUSIONES

El mecanismo que prevalece para el movimiento del ión Ca^{2+} a través del bulbo húmedo es el flujo de masas, ya que se observa que durante el período de muestreo ocurrió una elevada demanda de agua por parte del cultivo. En los perfiles del ión K^+ , se detalla que los valores más altos se detectaron en el punto más próximo al emisor y en los primeros centímetros de profundidad, esto debido a que el potasio es menos móvil por lo que su distribución en el suelo puede ser más uniforme, ya que se distribuye lateralmente y en profundidad simétricamente cuando es aplicado a través del riego por goteo. Se observa que la concentración del ión de Mg^{2+} está vinculada esencialmente a su aporte en el agua de riego, mientras que su distribución está condicionada por la absorción de nutrientes por la planta. En los perfiles del ión Na^+ se detalla el desplazamiento de la concentración en sentido vertical, lo que evidencia que el movimiento de dicho ión está supeditado al flujo de masas, por efecto del agua de riego.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAENA G., R. ORDÓÑEZ, M. PASTOR, P. GONZÁLEZ. 2003. Distribución en el bulbo húmedo de los nutrientes aplicados en fertirriego en Olivar. Estudios de la Zona No Saturada del Suelo, Vol VI: 65-69.
- HIDALGO J. C., M. PASTOR, P. GONZÁLEZ, R. ORDÓÑEZ, J. HIDALGO. 2003. Resultados preliminares de la distribución de potasio extraíble en el bulbo húmedo en un olivar en el que se ha aplicado fertirrigación potásica. Estudios de la Zona No Saturada, Vol. VI: 59-63
- JASSO-CHAVERRÍA C., J. VERA-MUÑOZ, R. NÚÑEZ-ESCOBAR, J. MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ, P. SÁNCHEZ-GARCÍA. 2001. Distribución de iones en el bulbo húmedo del suelo como producto del fertirriego por goteo. Agrociencia. 35:275-285.
- KLEIN, I., G. SPIELER. 1987. Fertigation of apples with nitrate or ammonium nitrogen under drip irrigation. II. Nutrient distribution in the soil. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 18:323-339.
- SÁNCHEZ V., JAVIER. 2000. Fertirrigación. Principios, Factores, Aplicaciones. <http://www.fertilizando.com/articulos/FertirrigaciónPrincipiosFactoresAplicaciones.pdf> (Última revisión: 03 de marzo de 2008).
- URIU, K., M. R. CARLSON., W. D. HENDERSON., H. SCHULBBACH, M. T. ALDRICH. 1980. Potassium fertilization of prune trees under drip irrigation. J. Am. Soc. Hort. Sci. 105: 508-518.