

Distribución de aniones en el bulbo húmedo producto de la fertirrigación en el cultivo de Pimentón (*Capsicum annuum* L.)

Jacqueline Romero-Palomares

Programa de Ingeniería de la Producción Agropecuaria
Universidad Nacional Experimental Sur del Lago
“Jesús María Semprúm”, UNESUR
Santa Bárbara de Zulia, Venezuela
romeroj@unesur.edu.ve

Luis Razuri-Ramírez

Centro Interamericano de Desarrollo e
Investigación Ambiental y Territorial, CIDIAT
Universidad de Los Andes
Mérida, Venezuela
razuri@ula.ve

Clifford Peña

Edgar Romero

Instituto de Investigaciones Agropecuarias, IIAP
Universidad de Los Andes
Mérida, Venezuela
clifford@ula.ve
edroca@ula.ve

Recibido: 1 noviembre 2014 ; Aceptado: 19 de Marzo de 2015

Pág: 106 - 119

RESUMEN- En el proceso de fertirrigación es importante explorar la solución del bulbo, que se forma durante el riego, para conocer el nivel de nutrientes disponibles para la planta. La investigación tiene como finalidad determinar la distribución de aniones en el bulbo húmedo producto de la fertirrigación en el cultivo de pimentón bajo condiciones de riego localizado. Se instaló un ensayo en la Estación Experimental de San Juan de Lagunillas del Instituto de Investigaciones Agropecuarias de la Universidad de Los Andes, donde se tomaron muestras de suelo en tres sectores ubicados en los extremos y centro de la unidad de riego, muestreándose en total doce perfiles de suelo durante todo el ciclo del cultivo. Se procedió a la extracción de muestras de suelo del perfil del sistema radical, para ser analizadas en laboratorio y determinar en aquellas: Carbonatos, Bicarbonatos, Cloruros, Nitratos, Sulfatos y Fosfatos. Los resultados

mostraron que el movimiento de los aniones Bicarbonatos, Cloruros, Nitratos, Fosfatos y Sulfatos en el bulbo húmedo fue vertical. La concentración de los aniones estuvo vinculada al aporte en el agua del riego, mientras que la distribución estuvo condicionada por la absorción de nutrientes por parte de la planta.

Palabras Clave: ertirrigación, pimentón, bulbo húmedo, aniones, riego localizado.

7.1. Introducción

Bajo los sistemas de riego localizado, 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. Los programas de fertirrigación, donde el agua de riego y los fertilizantes se aportan conjuntamente, deben intentar restituir las cantidades extraídas por el cultivo en cada estado de su desarrollo. El empleo de riegos localizados de alta frecuencia modifica la ubicación de los iones en el suelo, por lo que la distribución en el perfil es una consecuencia del régimen de humedad. De acuerdo a Jasso-Chaverría et al (2001) [3], la concentración de iones esta vinculada esencialmente a su aporte en el agua de riego, mientras que su distribución esta condicionada por la absorción de nutrientes por la planta, así mismo reportan que los mecanismos fundamentales en el acceso de nutrientes hacia las raíces son el flujo de masas, la difusión y la intercepción, donde el primer mecanismo corresponde al movimiento de iones con la solución de suelo por gravedad, capilaridad y flujo transpirativo; el segundo, al movimiento iónico de una zona de mayor concentración a una de menor concentración. A su vez, Vargas y Rodríguez (2001)[9], encontraron que en la zona de desarrollo radicular de las plantas, las condiciones de salinidad se mantienen por debajo de los niveles críticos para el crecimiento del cultivo, debido al sistema de riego utilizado que favorece la formación de un bulbo hídrico donde se produce un desplazamiento de las sales hacia las zonas superficiales de los espacios entre goteros. Por último, Vermeiren y Jobling (1986) [10], indican que en el riego localizado el agua se difunde tanto en profundidad como lateralmente, transportando las sales al límite de las zonas humedecidas. De ello se puede esperar acumulaciones de sales en la superficie del suelo, a poca profundidad y en la periferia del bulbo húmedo, pero al interior de éste, justo debajo del emisor o gotero, la humedad del suelo es siempre elevada y la concentración de sales es reducida.

7.2. Metodología

Se instaló un ensayo en la Estación Experimental del Instituto de Investigaciones Agropecuarias de la Universidad de Los Andes, en San Juan de Lagunillas, municipio Sucre, estado Mérida, Venezuela, ubicada a 1072 msnm, cuyas coordenadas UTM son: 240946E–941369N, 240737E–94369N, 240737E–941754N, 240946E–941759N (ver Figura 7.1). En cuanto a los suelos que se ubican en la estación experimental, ellos pertenecen a lavas torrenciales de la formación La Quinta, de muy superficiales a sub-superficiales, clasificados taxonómicamente como Typic Haplocambid, franco fino micaceo, isohipertérmico. Las pendientes del terreno oscilan entre 10 % y

Figura 7.1: Plano de la Estación Experimental del IIAP-ULA, San Juan de Lagunillas, Mérida, Venezuela

Para la realización de la investigación se utilizó el cultivo de Pimentón (*Capsicum annuum* L.), variedad Cacique Gigante, haciendo acotación que este es un cultivo de transplante por lo que previamente se llevó a cabo la preparación de semilleros, donde en bandejas se colocaron sustrato más fertilizante, esto para ofrecerle las mejores condiciones de fertilidad y humedad a la semilla; las necesidades hídricas del cultivo, en la fase de semillero, fueron suplidas con riego por microaspersión. Una vez que las plantas alcanzaron el tamaño y diámetro de tallo adecuado, se procedió al transplante en el campo, aproximadamente a los 35 días; las plantas fueron ubicadas a 0,40 m, y las hileras de plantas a 1,0 m. El riego del cultivo de Pimentón en el campo se hizo con cintas de goteo. La superficie de la parcela experimental fue de 2511,8 m²; la población total del ensayo fue de 6280 plantas. 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, que se conectó a dos salidas inmediatas (tuberías) de la bomba eléctrica, que provee de la energía necesaria al agua para su recorrido dentro del sistema de riego localizado.

Para la toma de muestras de suelo, se seleccionaron tres cintas de riego, ubicadas en los extremos y centro de la unidad de riego; por cada cinta se excavaron cuatro perfiles, en cuatro etapas diferentes del cultivo, de aproximadamente 50cm de ancho, 50 cm de largo y 50cm de profundidad; durante el muestreo de suelo de cada perfil, se extrajo la planta ubicada a un lado del mismo; se muestrearon en total doce perfiles y doce plantas durante todo el ciclo del cultivo. 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 se pasaron a bolsas de papel y fueron colocadas bajo sombra y se esperó a que se secaran para posteriormente tamizarlas y así eliminar los fragmentos de pedregosidad presentes en el suelo, para luego ser analizadas en laboratorio y determinar: Bicarbonatos, Cloruros, Nitratos, Sulfatos y Fosfatos.

Una vez realizados los análisis en laboratorio de las muestras de suelos, los resultados obtenidos se vaciaron en una hoja de cálculo, esto con el fin de introducir ecuaciones que permitieran realizar los cálculos respectivos que generaran los valores definitivos de dichos análisis. A su vez se utilizó el programa estadístico SPSS Versión 10.0, para obtener ecuaciones de regresión lineal con los valores obtenidos de las soluciones patrones que se utilizaron para construir la curva de calibración que se generó para los análisis de nitratos, sulfatos y fosfatos, y que con dichas ecuaciones, posteriormente utilizadas en la hoja de cálculo, permitiera transformar los datos de absorbancia en valores definitivos expresados en mg/kg. En lo que respecta a los análisis de las muestras de suelos, los valores definitivos se colocaron en otra hoja de cálculo en forma de matriz de datos, referenciando en ésta las coordenadas de los puntos de muestreo del perfil del suelo. Una vez diseñadas las matrices de cada uno de los análisis realizados (cloruros, bicarbonatos, nitratos, fosfatos y sulfatos), estas fueron importadas desde el programa SURFER Versión 7.0 para la construcción de una grilla o cuadrícula de 20 filas x 20 columnas, para así generar isolíneas que representaran la distribución en el bulbo húmedo de cada uno de los elementos anteriormente mencionados.

7.3. Resultados y Discusión

7.3.1. Cloruros

En la Figura 7.2 se presenta la distribución de los Cloruros en el bulbo húmedo. Se detalla que en el primer muestreo, 80 días después del trasplante (DDT), la mayor concentración del ión Cl^- se encuentra en la mitad inferior del bulbo húmedo, mientras dicha concentración va disminuyendo progresivamente hacia el emisor; se observa entonces un movimiento vertical del ión Cloruro dentro del bulbo húmedo. En cuanto al segundo muestreo (87 DDT) se observa una alta concentración de Cloruros en casi la totalidad del bulbo, acumulándose más en la mitad superior del mismo. Para el tercer muestreo (93 DDT) se consigue una mayor concentración de Cloruros en el fondo del bulbo húmedo, disminuyendo nuevamente la presencia de estos desde la mitad superior del bulbo hasta donde se localiza el emisor. En el cuarto muestreo (103 DDT) se consigue otra vez una alta concentración de cloruros en la mayor parte del bulbo húmedo. Debido a que el ión Cl^- presenta carga negativa este no puede ser retenido por el complejo de intercambio catiónico, favoreciendo entonces el movimiento vertical del ión dentro del bulbo, donde se evidencia una gran movilidad del anión Cl^- . Entonces, como el cloruro es muy soluble y prácticamente no presenta reacciones de precipitación y/o solubilización, su patrón de distribución en el suelo está altamente correlacionado con el movimiento del agua de riego en el suelo, de acuerdo al reporte de Osorio y Céspedes (2000)[4]. Además, el ión Cl^- se lixivia con mayor facilidad, concentrándose en los límites del bulbo húmedo, según Jasso-Chaverría et al (2001)[3], lo que indica que la concentración del ión está vinculada esencialmente a su aporte en el agua de riego, mientras que su distribución está condicionada a la absorción de nutrientes por la planta.

7.3.2. Bicarbonatos

La Figura 7.3 representa la distribución de los Bicarbonatos en el bulbo húmedo. Se puede observar que en el primer muestreo (80 DDT) la mayor presencia de bicarbonatos se detalla hacia el centro y en el fondo del bulbo húmedo, dándose además un movimiento vertical de HCO_3^- dentro del bulbo. En el segundo muestreo (87 DDT) la acumulación de los bicarbonatos se presenta hacia el lado inferior izquierdo, lo que indica que continúa el movimiento vertical de los bicarbonatos dentro del bulbo. En el tercer muestreo (93 DDT) la mayor presencia de bicarbonatos se observa hacia el lado inferior derecho, dándose nuevamente el movimiento vertical de éstos en el bulbo húmedo. En el cuarto muestreo (103 DDT) se observa cierta acumulación de bicarbonatos cerca del emisor y en el lado inferior derecho del bulbo, presentándose una baja concentración en la mayor parte del bulbo. Entonces, la distribución de los bicarbonatos 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, como lo indica Pizarro (1996)[5], ya que el empleo de riegos localizados de alta frecuencia modifica la ubicación de los iones en el suelo.

7.3.3. Nitratos

La Figura 7.4 representa los perfiles de distribución de los Nitratos. Se puede observar que en el muestreo 1 (80 DDT) la mayor parte del perfil presenta una baja concentración de Nitratos, dándose solamente una acumulación de los mismos en el lado superior izquierdo. En el muestreo 2 (87 DDT) ocurre la acumulación de los nitratos en el perfil hacia el lado inferior izquierdo, mientras en el resto del bulbo se consigue una baja concentración de Nitratos. En el muestreo 3 (93 DDT) la acumulación de nitratos se presenta en el lado inferior derecho del perfil, mientras en el resto del bulbo se observa una baja concentración de los iones. Para el muestreo 4 (103 DDT), en casi todo el perfil, se observa una mayor concentración de Nitratos, con respecto a los muestreos anteriores, se estaría dando, entonces un movimiento vertical de los iones en el bulbo húmedo. Las evidencias anteriormente planteadas permiten comparar con lo conseguido por algunos investigadores, como es el caso de Sánchez, (2000) [6], quien establece que el nitrógeno es el elemento más frecuentemente aplicado vía agua de riego, lo que se debe a su alta movilidad en el suelo, por lo tanto, también existe un alto potencial de pérdida por lixiviación en forma de nitrato (NO_3^-). Debido a esta situación la fertirrigación permite aplicar los fertilizantes nitrogenados en función de la demanda del cultivo. Mientras Jasso-Chaverría et al (2001) [3], indican que el Nitrógeno en forma de anión se mueve más rápido en el suelo debido a su mayor solubilidad, ya que los nitratos se desplazan con el agua edáfica, permitiendo así una mayor uniformidad en la distribución y asimilación por la planta. Por su parte Solórzano (2003) [8], concluye que el nitrógeno es muy dinámico en el suelo perdiéndose por varias vías, y que una de las importantes vías de pérdida de nitrógeno del suelo es su absorción por parte de las plantas, por lo que, en general, el nitrógeno es el elemento esencial que las plantas absorben y acumulan en mayores cantidades. Los perfiles mostrados sobre la distribución de los iones Nitratos, muestran que ocurre una alta movilidad de los mismos, lo que evidencia una potencial pérdida por lixiviación del anión Nitrato, aunado al consumo que ocurre por parte de la planta, ya que el Nitrógeno es uno de los macronutrientes de mayor consumo por la planta.

7.3.4. Fosfatos

La Figura 7.5 presenta los perfiles de distribución de los Fosfatos. Se puede observar que en el primer muestreo (80 DDT) y segundo muestreo (87 DDT) ocurre una acumulación de iones PO_4^{3-} en el lado inferior izquierdo del bulbo, dándose una baja concentración en el resto del perfil; ocurriendo además un movimiento vertical de los iones PO_4^{3-} dentro del perfil. En el tercer muestreo (93 DDT) y cuarto muestreo (103 DDT) se detalla acumulación de Fosfatos hacia el centro del bulbo húmedo, ocurriendo disminución de los mismos desde el centro hacia la periferia del bulbo húmedo; se estaría en presencia de un movimiento vertical de los iones. Haciendo una revisión de la literatura sobre investigadores que evaluaron el comportamiento del anión Fosfato, se consigue que: Según Fuentes (1998) [2], el movimiento del fósforo en el suelo es muy limitado, sin embargo, está demostrado que el elemento tiene una considerable movilidad en el suelo cuando se aplica en riego localizado. Esto se debe a que se origina una saturación de los lugares de fijación en las proximidades del gotero, lo que hace posible el arrastre del elemento con el agua hacia las capas más profundas del suelo; el fósforo

se mueve de 5 a 10 veces más que en el sistema tradicional de fertilización, de este modo, al haber mayor volumen de suelo con disponibilidad de este nutriente se facilita su absorción por las plantas y aumenta la eficacia de la fertilización.

7.3.5. Sulfatos

En la Figura 7.6, que corresponde a los perfiles de distribución de los Sulfatos, se observa que, en el muestreo 1 (80 DDT) ocurre acumulación de iones Sulfatos en el lado izquierdo superior del perfil, y a partir de este punto hacia el resto del bulbo se observa una disminución progresiva de la concentración de los iones; se estima, entonces, que ocurre un movimiento vertical de los iones. En el muestreo 2 (87 DDT) se observa que la acumulación de los iones Sulfatos ocurre en el lado superior izquierdo del perfil del bulbo, mientras en el resto se detalla una disminución bastante homogénea de la concentración de los iones. En el muestreo 3 (93 DDT) la mayor concentración de iones Sulfatos se ubican cerca del emisor, mientras en el resto del perfil se observa una baja concentración; el movimiento que ocurre es vertical. Por último en el muestreo 4 (103 DDT), se detalla que la menor concentración de Sulfatos se ubica en el centro y hasta abajo del perfil del bulbo, consiguiéndose una mayor concentración hacia la periferia del bulbo y cerca del emisor; se observa un movimiento vertical de los iones Sulfatos. Algunos investigadores que evaluaron el comportamiento del ión Sulfato reportan lo siguiente: De acuerdo a Casanova (2005)[\[1\]](#), el azufre es absorbido en forma de anión divalente SO_4^{-2} y sus fuentes principales en el suelo son la materia orgánica, minerales, sitios de adsorción en las arcillas y fertilizantes. Según Solórzano (2001)[\[7\]](#), las plantas absorben el azufre del suelo principalmente en la forma de anión sulfato (SO_4^{-2}) que se encuentre en solución.

7.4. Conclusiones

En referencia al ión Cl^- , se observó que éste se lixivia con mayor facilidad, acumulándose en los límites del bulbo húmedo, lo que indica que la concentración del ión estuvo vinculada esencialmente a su aporte en el agua de riego, mientras que su distribución estuvo condicionada a la absorción de nutrientes por la planta. En cuanto a la distribución del ión HCO_3^- en el perfil, ésta fue una consecuencia del régimen de humedad, ya que 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. Los perfiles mostrados sobre la distribución del ión NO_3^- , muestran que ocurrió una alta movilidad del mismo, lo que evidencia una potencial pérdida por lixiviación del anión Nitrato, aunado al consumo que ocurrió por parte de la planta. Con respecto a la distribución del ión PO_4^{-3} , se pudo observar que ocurre una acumulación en el lado inferior izquierdo del bulbo y hacia centro del bulbo húmedo, ocurriendo entonces un movimiento vertical de los iones PO_4^{-3} dentro del perfil. El movimiento del anión SO_4^{-2} en el bulbo húmedo, fue vertical, donde incidió el proceso de difusión y flujo de masas, así mismo la concentración del ión SO_4^{-2} estuvo vinculada esencialmente a su aporte en el agua del riego.

7.5. Agradecimientos

Al Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico (CDCHT) de la Universidad de Los Andes, al Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT), al Instituto de Investigaciones Agropecuarias de la Universidad de Los Andes, y al Laboratorio de Suelos del Instituto de Geografía de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad de Los Andes.

7.6. Figuras

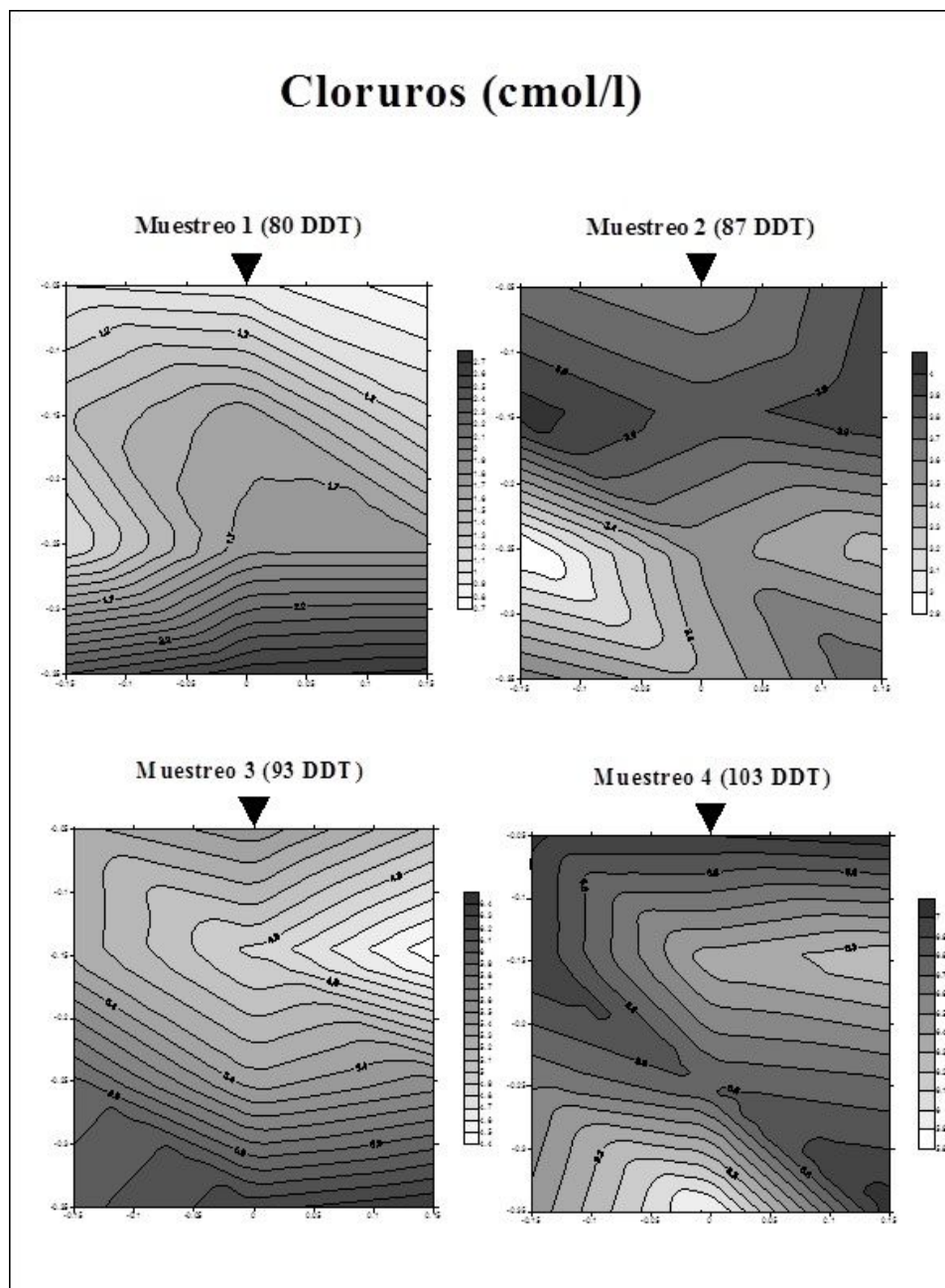


Figura 7.2: Concentración de Cloruros (cmol/l)

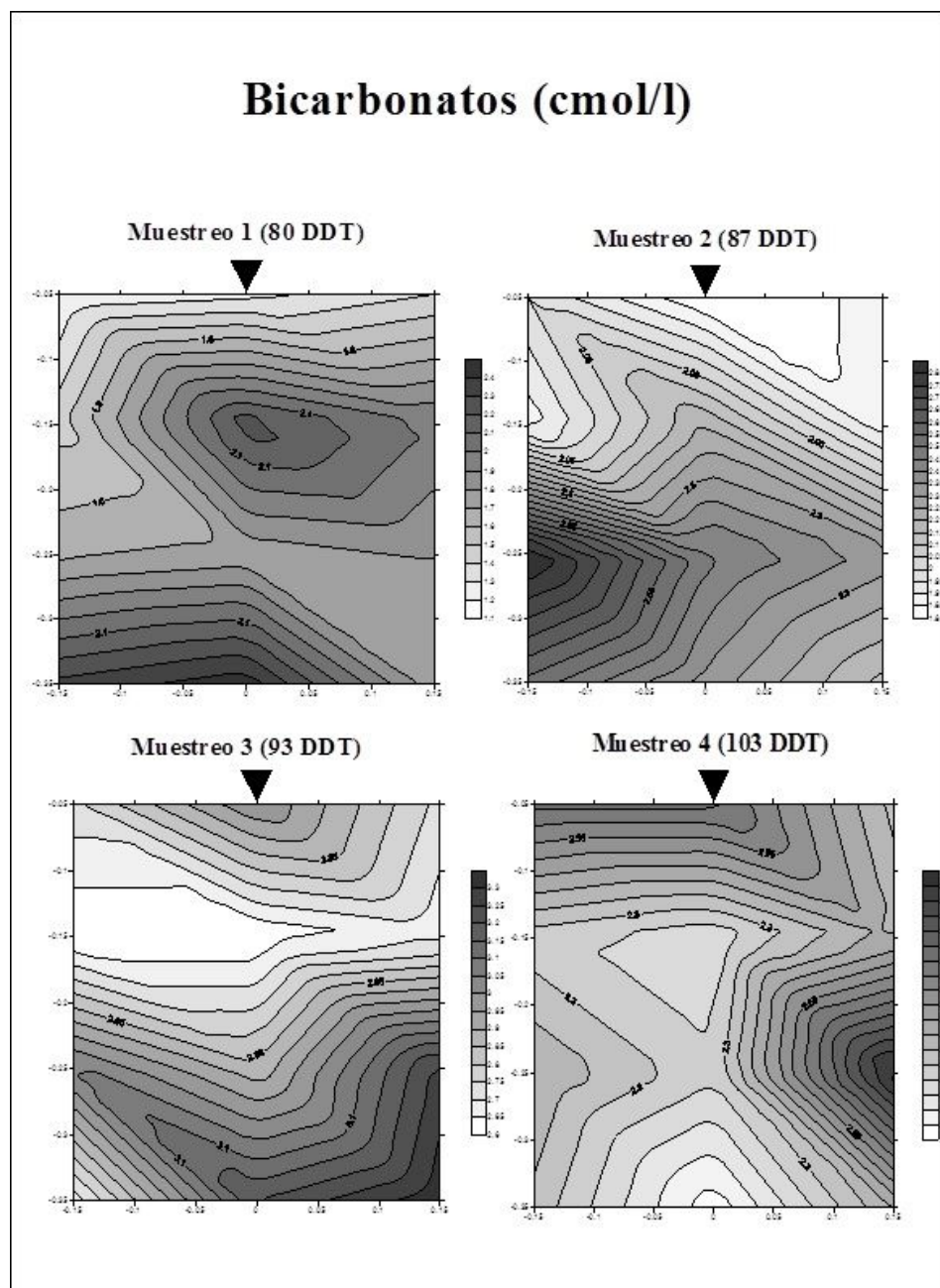


Figura 7.3: Concentración de Bicarbonatos (cmol/l)

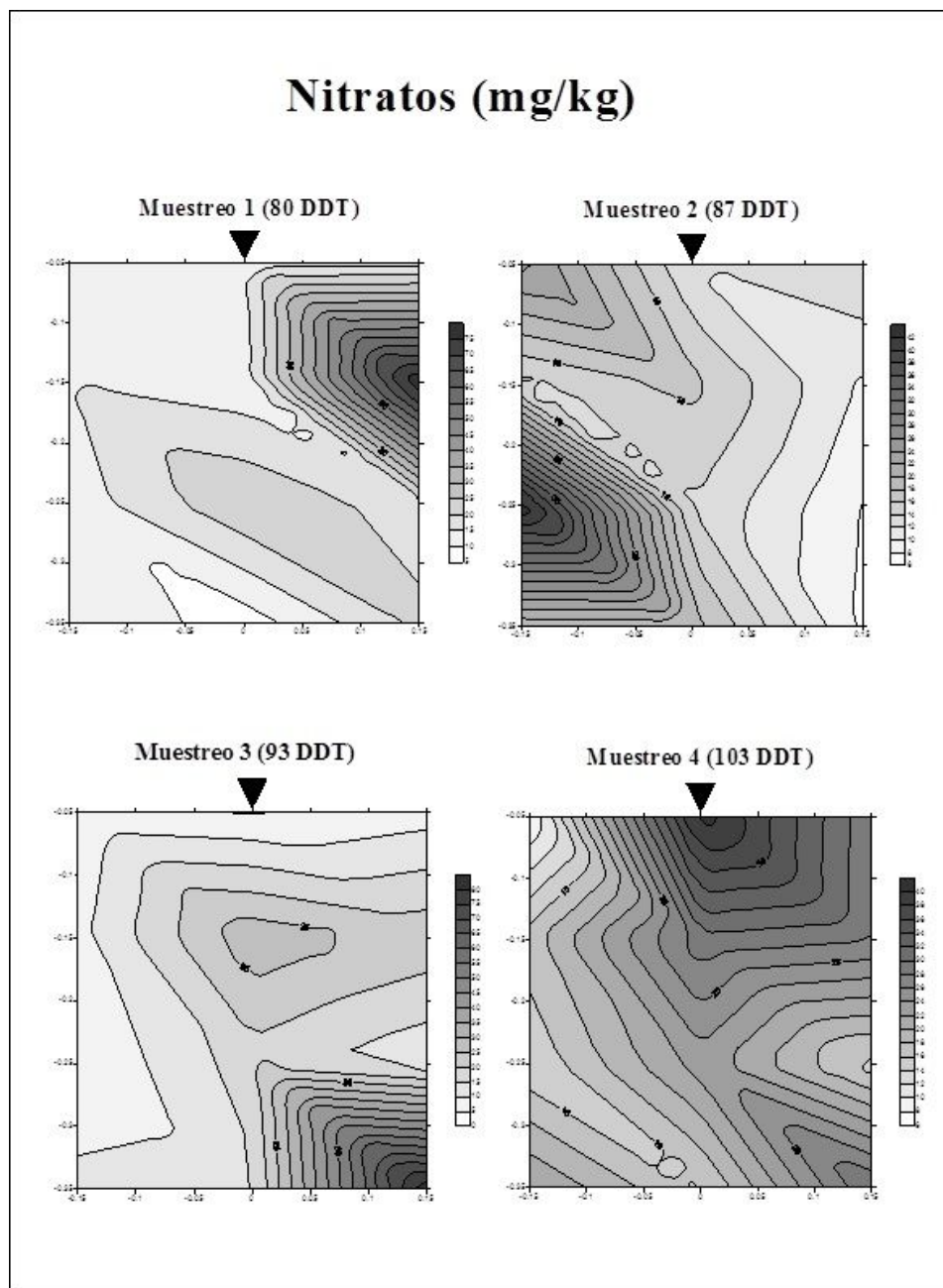


Figura 7.4: Concentración de Nitratos (mg/kg)

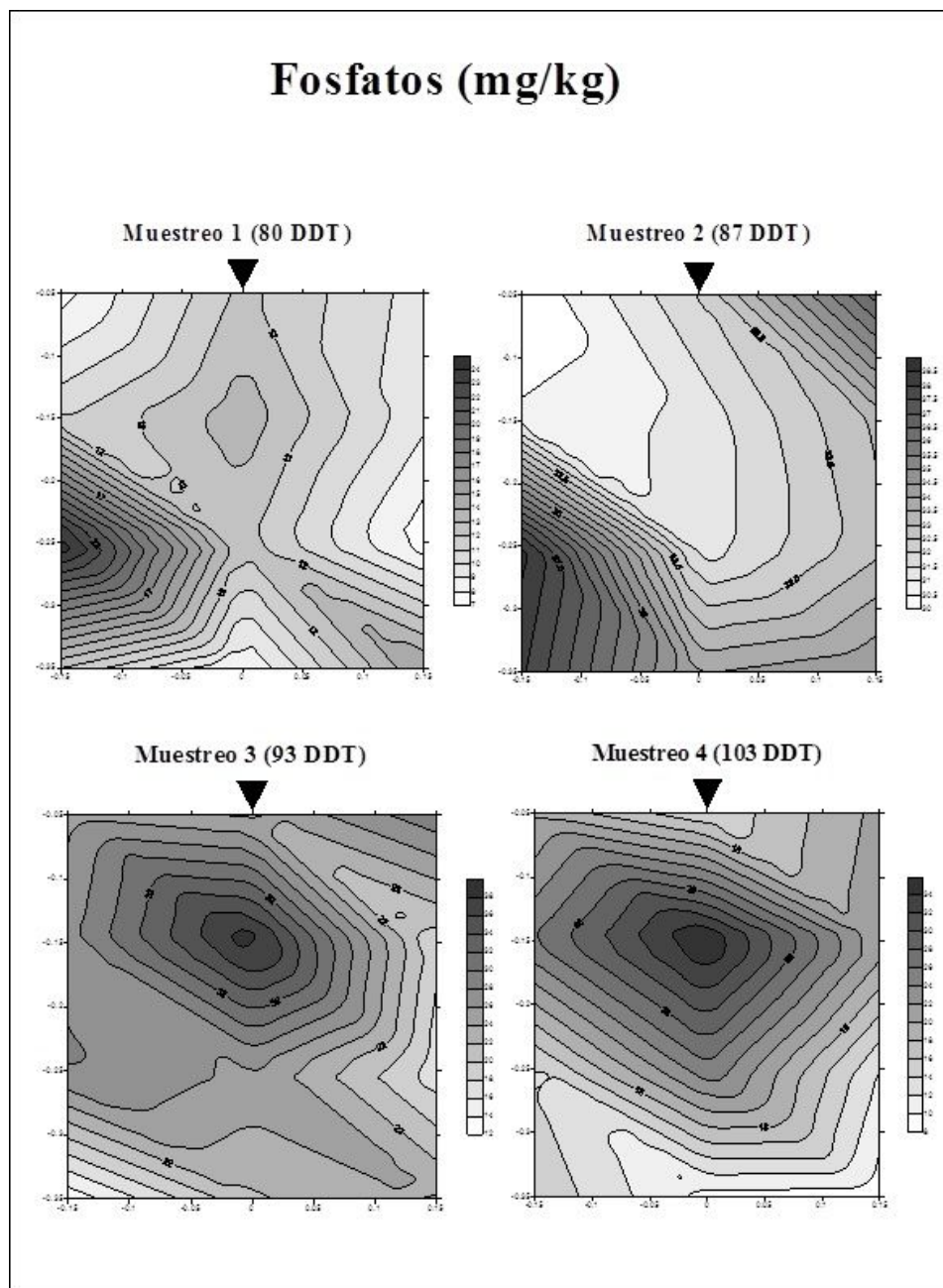


Figura 7.5: Concentración de Fosfatos (mg/kg)

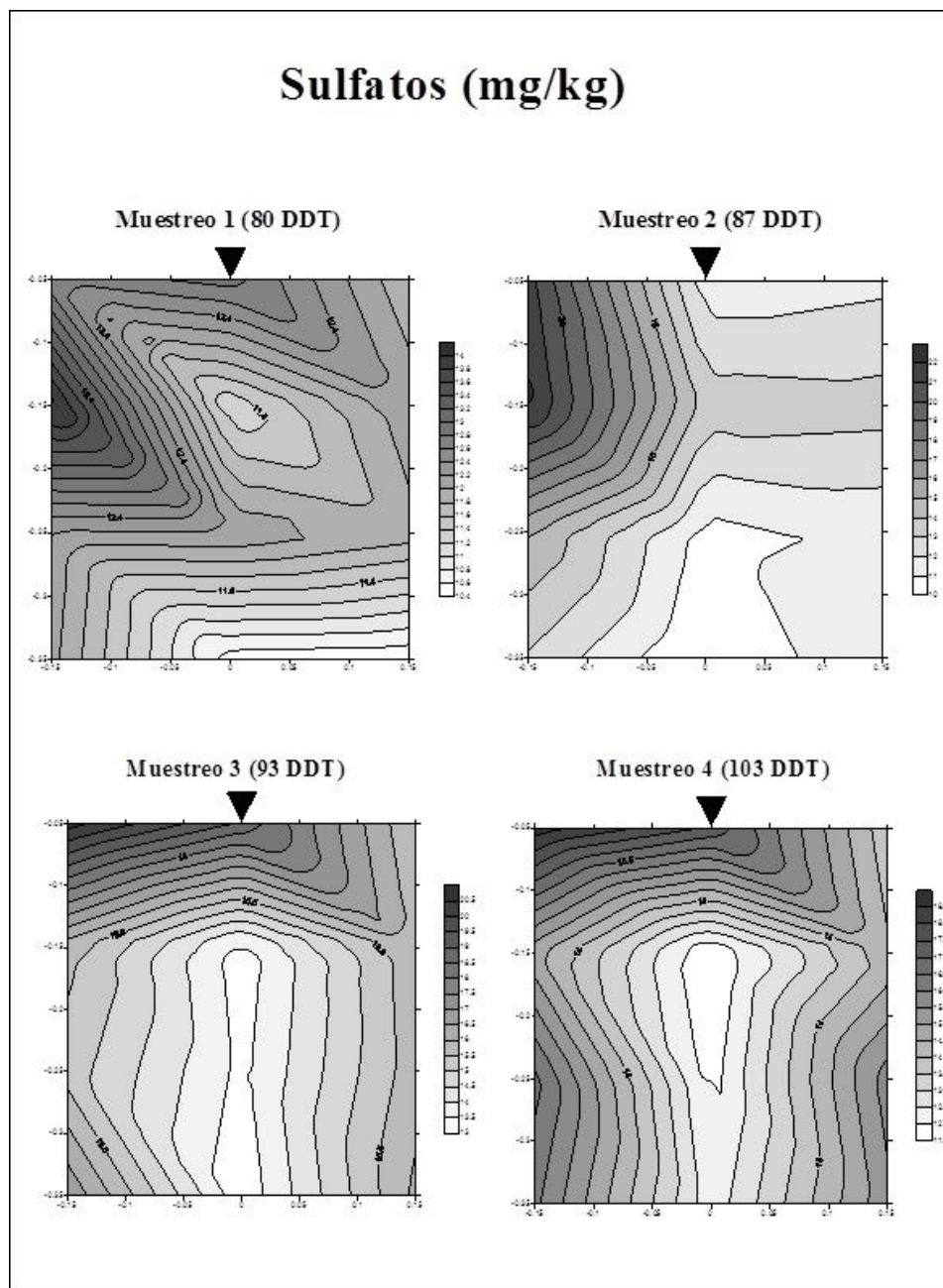


Figura 7.6: Concentración de Sulfatos (mg/kg)

Bibliografía

- [1] CASANOVA EDUARDO *Introducción a la ciencia del suelo* Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico. Universidad Central de Venezuela. 482 pp. 2005.
- [2] FUENTES Y., JOSÉ L. *Técnicas de Riego*. Coedición Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación y Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 471 pp. 1998.
- [3] JASSO-CHAVERRÍA C., J. VERA-MUÑOZ, R. NÚÑEZ-ESCOBAR, J. MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ, P. SÁNCHEZ-GARCÍA. *Distribución de iones en el bulbo húmedo del suelo como producto del fertirriego por goteo*. *Agrociencia* 35:275-285. 2001.
- [4] OSORIO U. ALFONSO, RICARDO CÉSPED R. *Efecto de métodos de riego localizado en la salinidad del perfil de suelo en Vid de mesa. I. Conductividad eléctrica, sodio, cloro y boro en distintos puntos del perfil*. *Agricultura Técnica (Chile)* 60 (2): 178-194. 2000.
- [5] PIZARRO C., F. *Riegos Localizados de Alta Frecuencia*. 3ª edición. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. 513 pp. 1996.
- [6] SÁNCHEZ V., JAVIER. *Fertirrigación. Principios, Factores, Aplicaciones*. 2000. Disponible en : <http://www.fertilizando.com/articulos/FertirrigaciónPrincipiosFactoresAplicaciones.pdf> (Última revisión: 03 de marzo de 2008).
- [7] SOLÓRZANO P. *Manual para la fertilización de cultivos en Venezuela* AGROISLEÑA. 215 pp. 2001.
- [8] SOLÓRZANO P. *Fertirrigación. Soluciones nutritivas para los cultivos*. Departamento de Fertilizantes. AGROISLEÑA, C.A. 165 pp. 2003.
- [9] VARGAS, G. E., A. RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ. *Modelización de la distribución de sales en un suelo con cultivo de tomates bajo riego localizado*. 2001. Disponible en: <http://www.unavarra.es/directo/congresos/apoyo/jzns/19.pdf> (Última revisión: 18 de mayo de 2007).
- [10] VERMEIREN, L., G. A. JOBLING. *Riego Localizado*. FAO. Roma, Italia. Serie Riego y Drenaje N° 36, 203 pp. 1986.