

Concentración de nutrientes en savia en cultivo de tomate bajo invernadero

AUTOR: Alfonso Llanderal

TUTORAS: Dra. María Luz Segura* y Dra. María Teresa Lao**

*Área Producción Ecológica y Recursos Naturales. IFAPA Centro La Mojonera. Camino de San

Nicolás, nº 1, La Mojonera, Almería.

**Departamento de Agronomía. Universidad de Almería. Carrera de Sacramento s/n, Almería.

RESUMEN

En el sureste de España, los cultivos hortícolas intensivos se desarrollan mayoritariamente en sistema enarenado con riego por goteo bajo invernaderos de plástico. El objetivo de este experimento es observar el comportamiento de los nutrientes del extracto celular durante el ciclo del cultivo, así como las modificaciones que presentan las distintas plantas (cada punto de muestreo) en el invernadero. Se establecieron 5 líneas de cultivo en la zona norte y otras 5 en la zona sur del invernadero, escogiendo dos plantas por línea hasta un total de 20 plantas por muestreo. Se realizaron 12 muestreos con periodicidad semanal desde los 86 días después del trasplante (DDT) hasta los 163 DDT, en la savia extraída se determinaron Cl^- , N-NO_3^- , $\text{P-H}_2\text{PO}_4^-$, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} y Na^+ mediante HPLC. Se observa una disminución de la concentración de K^+ y $\text{P-H}_2\text{PO}_4^-$ a lo largo del cultivo, mientras que se aprecia un incremento de la concentración de N-NO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- y SO_4^- . Se realizó una regresión multivariante para conocer la variación de la concentración de nutrientes en savia en relación de la posición de la planta en el invernadero, donde se muestra una clara relación de antagonismo entre N-NO_3^- y Cl^- , así como entre K^+ , Na^+ y Mg^{2+} . También se observa una fuerte relación entre la concentración de $\text{P-H}_2\text{PO}_4^-$ y el pH de la solución del suelo.

Palabras clave: Fertirrigación, cloro, nitrato, fosfato, calcio, potasio, magnesio, sodio.

ABSTRACT

In south-eastern Spain, intensive horticultural crops are developed mainly in sanding system with drip irrigation under greenhouses. The aim of this trial is to know the behaviour of the nutrients in sap during crop, and their modifications in the greenhouse surface. Five sampling lines were established, choosing two plants on the right and two plants on the left of the central aisle of the greenhouse until a total of 20 samples by sampling. Twelve sampling whit interval of a week between 86 days after transplanting (DAT) to 163(DAT) were taken. The sap were analysed and Cl^- , N-NO_3^- , $\text{P-H}_2\text{PO}_4^-$, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} y Na^+ were determined. The results showed that K^+ and $\text{P-H}_2\text{PO}_4^-$ concentrations decreased along the crop, meanwhile the concentration of N-NO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- and SO_4^- increased. A Multivariate regression was performed to know the concentration of the nutrients in sap in relationship whit the position of the plant in the greenhouse, that showed a antagonism relationship between N-NO_3^- and Cl^- , and between K^+ , Na^+ y Mg^{2+} . There is also a strong relationship between the concentration of $\text{P-H}_2\text{PO}_4^-$ and the pH of the soil solution.

Keywords (5): fertigation, chloride, nitrate, phosphate, calcium, potassium, magnesium, sodium.

INTRODUCCIÓN

En los cultivos hortícolas en invernadero del sureste español, la producción se desarrolla sobre un complejo acolchado sobre el suelo natural constituido habitualmente por tres capas: una capa superior de arena de unos 10 cm de grosor, una capa intermedia de unos 2 cm de estiércol como enmienda orgánica y una capa mineral de suelo aportado de textura variable que va desde franco-arcillosa a franco-arenosa y un grosor que puede oscilar entre 10 y 40 cm de grosor (Segura, 1995). Así mismo, el método de aportación de fertilizantes es a través de la fertirrigación, que consiste en el uso de una solución nutritiva equilibrada basada en los principios de la hidroponía, que se ajusta a las condiciones del suelo y a las condiciones climáticas locales (Cadahía, 1998).

El cultivo de tomate, recibe altas dosis de fertilizantes, especialmente nitrogenados (Armenta *et al.*, 2001), los cuales afectan negativamente al medio ambiente (Gallardo *et al.*, 2009). Estos problemas han impulsado la búsqueda de alternativas de fertilización sustentables que, además de suplir los requerimientos nutrimentales de los cultivos, no afecten significativamente al rendimiento y la calidad de los frutos (Nieto *et al.*, 2002).

Para el diagnóstico del estado nutricional de un cultivo, se pueden emplear diferentes técnicas entre las que tradicionalmente destacan: el análisis de tejidos, el análisis del suelo y la observación de síntomas; técnicas que se deben conjugar con el conocimiento del régimen de fertilización que se está siguiendo (Bould, 1983). No obstante, en la actualidad se vienen desarrollando nuevos procedimientos de diagnóstico basados en pruebas bioquímicas y análisis combinados de sustrato-agua-planta (Mathers, 2000).

En muchas ocasiones hay una falta de correlación entre las variaciones del potencial nutritivo del medio de cultivo y la composición química de la hoja. Hay pues, que buscar nuevos métodos de diagnóstico que mejoren y complementen el análisis foliar que refleja la situación nutricional pasada.

El diagnóstico nutrimental mediante el extracto celular es una herramienta útil para identificar intervalos de concentración de nutrientes asociados con deficiencias, toxicidades o desequilibrios en las diferentes fases fenológicas de la planta y su relación con su potencial de rendimiento (Cary, 1971; Fageria *et al.*, 1991). El material de referencia que denominamos savia corresponde al jugo extraído de los tejidos conductores que proviene tanto del xilema como del floema de la planta (Cadahía, 2008).

El análisis de savia es un medio dinámico que permite identificar y prever, desde las primeras etapas de cultivo, alguna de las manifestaciones u alteración nutrimental que afecte el rendimiento del cultivo y resume la relación planta-suelo, sino también otros factores ambientales que influyen sobre el desarrollo de la planta. De igual forma, si se conoce una situación anormal en la nutrición de la planta, en etapas tempranas de la misma, se puede buscar en el suelo y en los factores ambientales la causa que está produciendo esa

anormalidad. La mayoría de los trabajos reportan el análisis de extracto celular para diagnosticar el contenido de N-NO₃⁻ en el extracto celular del pecíolo o xilema, para determinar el estado nutricional del cultivo (Constable *et al.*, 1991; Huett y White, 1991; Fox *et al.*, 1994; Schmidhalter, 1994; Westcott y Knox, 1994).

El objetivo de este experimento es establecer niveles de referencia en cultivo de tomate cv “Canaria”, conocer el comportamiento de los nutrientes en el extracto celular a lo largo del cultivo, y definir la distribución de estos en relación a la posición de la planta en el invernadero asociada a la heterogeneidad microclimática y de suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en un invernadero tipo Almería ubicado en la finca UAL-ANECOOP, en un suelo tipo enarenado descrito por Cabezas (2010), en un cultivo de ciclo corto de tomate (*Lycopersicon esculentum* cv. “Canaria”), con una densidad de plantación de 2 plantas m⁻² y con emisores de 3L h⁻¹. La fertilización del cultivo fue con fertirrigación. Se escogieron de 5 líneas de cultivo con 4 puntos de muestreo por línea (esquema 1), con un total de 20 muestras por muestreo. Se realizaron 12 muestreos con periodicidad semanal desde los 86 días después del trasplante (DDT) hasta el 163 DDT. Se tomaron muestras de peciolo en cada una de las 20 plantas seleccionadas, que fueron lavados con agua destilada y posteriormente secados, para ser troceados en fracciones de 0,5 cm, los cuales se introdujeron en el congelador para su congelación durante 24 horas aproximadamente. La extracción de la savia se realizó mediante una prensa, de acuerdo con la metodología descrita por Cadahía (1973). En la extracción de savia se determinaron Cl⁻, N-NO₃⁻, P-H₂PO₄⁻, SO₄⁻, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ y Na⁺, mediante cromatografía iónica líquida (HPLC) (Martínez *et al.*, 1998).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Niveles de nutrientes en savia

La tabla 1 presenta la concentración media, mínima, máxima y sus coeficientes de variación de aniones y cationes del extracto celular, obtenidos a lo largo del ensayo. El contenido de Cl⁻ en savia muestra un valor medio de 11.203 ppm, con un valor mínimo de 8.689 ppm y un valor máximo de 14.498 ppm y un coeficiente de variación del 11%. Estos valores son superiores a los presentados por Segura (1995) en un cultivo de tomate en invernadero, que se encuentran en torno a 5.374 ppm y 2.919 ppm, con un coeficiente de variación del 30%, este coeficiente es tan alto debido a que se aplicaron diferentes concentraciones de NO₃⁻, para estudiar el antagonismo NO₃⁻-Cl⁻.

La concentración de N-NO₃⁻ presenta un valor medio de 1.252 ppm, un valor mínimo de 810 ppm y un valor máximo de 1.633 ppm con un coeficiente de variación del 17%, siendo similares a los presentados por Castro *et al.* (2000) en un cultivo de tomate con valores medios de 1.290 ppm y un coeficiente de variación de 33% y con García *et al.* (1981)

(1.082 ppm) en un estudio realizado en plantas jóvenes de tomate con un coeficiente de variación de 47%, así como por Burgeño (1999) en cultivo de tomate bajo acolchado plástico.

Los valores medios, mínimos y máximos de la concentración de $P-H_2PO_4^-$ han sido de 40, 13 y 223 ppm, con un coeficiente de variación del 91%. Estos valores son similares a los presentados por Segura (1995) en esta misma zona, con valor promedio de 176 ppm y un coeficiente de variación de 27%, estos valores coinciden con Bahrún *et al.* (2002) en un cultivo de maíz con valores medios de 102 ppm y un coeficiente de 30%, sin embargo, Burgueño (1999) considera que valores inferiores a 170 ppm constituyen concentraciones cercanas a niveles de carencia. Estos valores pueden estar relacionados con la precipitación del fósforo en suelos de pH básico, como sucede en los estudios realizados por Shaymaa *et al.* (2009).

Las concentraciones de SO_4^{2-} en savia muestran un valor medio de 1.911 ppm con un máximo de 2.905 ppm y un mínimo de 1.684 ppm, estos valores son mayores a los presentados por Kuzuhara *et al.* (2013) en un cultivo de arroz (48 ppm), donde se emplearon niveles deficientes de SO_4^{2-} en fertirriego.

Las concentraciones de Na^+ en savia presentan un valor medio de 5.517 ppm, con el valor mínimo de 4.095 ppm y máximo de 7.581 ppm y un coeficiente de variación del 13%, siendo superiores a los obtenidos por Olías *et al.* (2009) en plántulas de tomate con un valor medio de 1.679 ppm y un coeficiente de variación de 78% y muy superiores a los presentados por Burgueño (1999) que considera 50 ppm como valor óptimo.

Los valores obtenidos para la concentración de K^+ muestran un promedio de 4.584 ppm, con un valor mínimo de 3.010 ppm y un valor máximo de 6.447 ppm y un coeficiente de variación del 16%, los cuales son superiores a los presentados por Segura (1995) (4.647 ppm y C.V. 21%) y Armenta (2001) (2.691 ppm C.V. 62%) en cultivo de tomate, sin embargo, el promedio coincide con el valor óptimo propuesto por Burgueño (1999). También Noh (2005) presenta valores similares en un cultivo de chile habanero.

En el análisis de extracto celular se obtuvieron las siguientes concentraciones de Ca^{2+} con un valor promedio de 5.546 ppm, el valor más bajo de 4.094 ppm y el valor mayor de 7.557 ppm y un coeficiente de variación de 11%. Estos valores son muy superiores a los obtenidos por Armenta *et al.* (2001) (957 ppm C.V. 39%) y Burgueño (1999) que considera un óptimo de 200 ppm en un cultivo de tomate. Los resultados obtenidos para el Mg^{2+} son de 1.687 ppm de media, 1.007 ppm como el valor mínimo y de 2.287 ppm del valor máximo, coincidiendo con los presentados por Segura (1985) y Armenta *et al.* (2001) con un valor medio de 801 ppm y 1.310 con coeficientes de 14% y 27% en un cultivo de tomate en invernadero y muy superiores al óptimo propuesto por Burgueño (1999).

Variación de la concentración de nutrientes en el tiempo.

Los requerimientos nutricionales de los distintos órganos se modifican en función del estado fenológico del cultivo, así Morard y Kerhoas (1982) proponen concentraciones diferenciales de nutrientes en savia en función de la etapa del cultivo.

En la figura 1 se presentan las concentraciones de Cl^- , en relación con los DDT, se puede apreciar un incremento en las concentraciones de 1.115 a 1.408 ppm del día 86 al 163 DDT. El Cl^- es traslocado desde la raíz a los tallos vía xilema y es distribuido por los tejidos vía floema (White y Broadley, 2001).

En la figura 2 se presentan las concentraciones de N-NO_3^- , en relación con los DDT, se puede apreciar un incremento en las concentraciones de 1.115 a 1.530 ppm del día 86 al 163 DDT. En el periodo desde el inicio de la cosecha a la plena producción intervienen compuestos orgánicos nitrogenados tales como poliaminas, que están involucrados en varios procesos fisiológicos entre los que se destacan la división celular y el desarrollo floral (Marschner, 1995), así que en este período, la planta deberá contar con suficiente nitrógeno para las actividades metabólicas y para su incorporación a las estructuras de los tejidos. Sin embargo, Morard y Roucolle (1983) consideran inferior la concentración óptima en la etapa de fructificación que en la de crecimiento. Este comportamiento fue similar al obtenido por Castro *et al.* (2000) en un cultivo tomate. Leyva (2005) también encuentra una disminución en las concentraciones al final del cultivo en un cultivo de chile habanero. Por otra parte, Pilbeam y Kirkby (1990) encuentran que cuando el NO_3^- es la única fuente de nitrógeno en la solución del suelo, la mayoría de las plantas muestran una preferencia por los cationes como K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , y Mg^{2+} que a su vez incrementan la actividad de la enzima nitrato reductasa en la raíz, con la consiguiente reducción de nitratos a nitritos, que genera un consumo excesivo de nitratos que se acumulan en las plantas, que puede explicar el incremento de NO_3^- durante el periodo productivo cuando existen altas concentraciones de Ca^{2+} , Mg^{2+} y Na^+ .

En la figura 3 se presentan los niveles de $\text{P-H}_2\text{PO}_4^-$ a lo largo del cultivo, con un valor máximo de 103 ppm (110 DDT) y descendiendo gradualmente hasta llegar a los 14 ppm. Esto es debido a que el fósforo posiblemente es acumulado en algunos tejidos maduros del tallo y de la raíz (Cadahía, 2000) y desde allí es suministrado para el inicio del crecimiento del brotes, hojas y frutos, lo cual indica que en este período (engorde del fruto), la planta requiere fósforo para mantener el nivel energético (ATP) y para la conformación de nuevas estructuras a nivel de tallos y hojas, puesto que participa como componente de los fosfolípidos en las biomembranas (Havlin *et al.*, 1999). El fósforo además está relacionado con la eficiencia del fotosistema II, así que en los momentos de mayor actividad fotosintética, se requieren cantidades mayores del elemento (Tjellström *et al.*, 2008), ya que el cultivo se realiza en el periodo de otoño-invierno. Morard y Roucolle (1983) presentan valores en torno al 33% superiores en la etapa de crecimiento que de fructificación, como ocurre en nuestro ensayo, aunque en nuestro caso tenemos valores 10 veces inferiores. Este comportamiento fue similar al observado en un cultivo de rosa por Muñoz (2011).

En la figura 4 se puede apreciar un incremento de SO_4^{2-} durante el periodo de formación del fruto con una concentración máxima a los 107 DDT y un valor de 1.987 ppm, a partir de este momento no presenta diferencias significativas durante el periodo de

producción. Puesto que Alcaraz *et al.* (1982) no han encontrado interacciones NO_3^- - SO_4^{2-} en savia en cultivo de tomate. Estos resultados se pueden relacionar con la síntesis de o-sulfato de colina (Yokoi *et al.*, 2002), que es un osmolito implicado en la regulación del potencial osmótico intracelular que facilita el movimiento del agua hacia el interior de las células. La síntesis de o-sulfato de colina puede depender de las mayores concentraciones de cationes (figuras 5, 6, 7 y 8) que presentan la misma tendencia.

En la figura 5 se puede observar la evolución del K^+ en savia a lo largo del cultivo donde se aprecia un incremento desde los 86 DDT hasta el día 107 DDT, desde 4.753 hasta 5.465 ppm, decreciendo conforme los frutos maduran hasta llegar a 4.000 ppm. Este aumento coincide con el proceso de expansión de las hojas y frutos, ya que el K^+ es requerido para la extensión celular. Una vez en la célula, el K^+ disminuye su potencial osmótico en la vacuola ocasionando la turgencia de la misma y de este modo se produce el aumento de tamaño, en el que simultáneamente se presenta distensión de la pared celular para facilitar el incremento del volumen (Salisbury y Ross, 2000). Este mecanismo fue similar al observado en tomate, el cual presentó un fuerte aumento del K^+ en la fase de crecimiento vegetativo y luego decreció hacia la madurez de los frutos (Widders y Lorenz, 1982; Castro *et al.* (2000).

En la figura 6 se puede apreciar un incremento del Ca^{2+} desde los 86 a los 164 DDT, de 4.753 a 5.465 ppm. Esta acumulación es debida a la limitada movilidad del Ca^{2+} hacia los frutos (Ho y Adams, 1994) y por lo tanto a la necesidad de un suministro continuo de Ca^{2+} . Las concentraciones propuestas por Morard y Roucolle (1983) son 30 veces inferiores a las encontradas en este ensayo y proponen niveles óptimos un 30% inferior en fructificación que en la etapa de crecimiento. Este comportamiento es similar al observado por Noh (2005) en un cultivo de chile habanero y por Armenta *et al.* (2001) en un cultivo de tomate. Sin embargo, en nuestras condiciones de cultivo, en análisis foliares también se han encontrado concentraciones más elevadas que los valores de referencia, debido a las altas concentraciones de Ca^{2+} y Mg^{2+} existentes en el suelo y en el agua de riego, asociado a la falta de movilidad del Ca^{2+} (Lao, 2003).

En la figura 7 se puede apreciar un incremento del Mg^{2+} desde los 86 a los 164 DDT, de 4.861 a 6.409 ppm. Presenta un comportamiento similar al Ca^{2+} . Por otra parte la concentración de Mg^{2+} es inferior a la mitad de la concentración de K^+ , aunque su concentración de Mg^{2+} en los suelos es superior (Nzana, 2006), por otra parte, al contrario de lo que le ocurre al Ca^{2+} es móvil y se encuentra en la savia floemática (Steucek y Koontz, 1970).

En la figura 8 se presentan las concentraciones de Na^+ en el extracto del tejido vascular de la hoja a lo largo del cultivo, que se encuentran entre 5.000 y 6.000 ppm presentando un pico a los 107 DDT. Estas concentraciones son un 69% mas bajas que las presentadas por Olías *et al.* (2009), pero muestran una tendencia similar. La alta concentración de Na^+ en el extracto puede deberse a su acumulación en los tallos debido a las condiciones de salinidad propias de la zona y a los altos niveles de transpiración, mediante

su almacenamiento en las vacuolas (Blumwald y Poole, 1985). Es interesante resaltar que las concentraciones de Na^+ son ligeramente superiores a las de K^+ y que ambas concentraciones se mantienen correlacionadas (Nublat *et al.*, 2001).

Topografía de la savia en invernadero (cambios en el espacio).

En este apartado se estudia la modificación espacial de la concentración de nutrientes en savia, que no puede relacionarse con el estado fenológico del cultivo y por lo tanto solo puede estar influida por la heterogeneidad del suelo y de los parámetros ambientales. Las figuras constituyen las superficies de regresión multivariante relacionadas con la posición del muestreo.

En la figura 9 se observa que la mayor concentración de Cl^- con concentraciones en torno a 1.200 ppm esta ubicada en la parte este del invernadero. En la figura 10 donde se muestra un mapa topográfico de la concentraciones de N-NO_3^- en savia en invernadero, se puede observar que la mayor concentración (1.300 ppm) se sitúa en la parte central, de tal forma que al comparar ambas gráficas se observa el antagonismo que existe entre ambos aniones. Esta interacción podría explicarse a partir de los resultados de Cram (1973) que encontró que la competición entre Cl^- y NO_3^- se producía a nivel de la membrana vacuolar y no en el plasmalema.

En la figura 11 se muestran las concentraciones de $\text{P-(H}_2\text{PO}_4^-)$ con niveles de 10 a 40 ppm, donde la mayor concentración de fosfato se encuentra en la zona central del invernadero, lo cual puede ser ocasionado por el pH (figura 17) con un valor de 7.6 en la misma zona. Esto concuerda con la investigación realizada por Chen y Barber (1990) que evaluaron la relación entre la disponibilidad del potasio y de fósforo respecto del pH en suelos ácidos, neutros y alcalinos, utilizando un modelo con maíz como indicador de cosecha. Los estudios indicaron el efecto del pH sobre el comportamiento del fósforo, de tal modo que hay mayor disponibilidad de fósforo a pH neutro.

En la figura 12 se pueden ver niveles de $\text{S-(SO}_4^{2-})$ que se encuentran entre los 1.900 a 2.100 ppm, observando una distribución homogénea ya que no participa en la alteración por antagonismo u competencia con otro elemento, como ha quedado discutido anteriormente.

En la figura 13 se observan los niveles de K^+ en savia, los cuales rondan los valores de 4.000 a 5.000 ppm, de manera que la mayor concentración de K^+ se sitúa en la parte oeste del invernadero. En la figura 16 se muestran las concentraciones de Na^+ que están entre 5.000 a 5.500 ppm, con valores mayores en la zona este del invernadero. Al observar ambas figuras se puede apreciar el efecto antagónico o de competencia entre K^+/Na^+ , ya que el exceso de Na^+ inhibe la absorción de K^+ y conduce a la aparición de síntomas relacionados con la deficiencia de K^+ tales como la clorosis y la necrosis (Gopa y Dube, 2003).

La figura 14 muestra los niveles de Ca^{2+} dentro del invernadero, con un valor promedio de 5.500 ppm, donde al igual que SO_4^{2-} , presenta una distribución homogénea sin ninguna alteración por competencia o antagonismo.

La figura 15 muestra la distribución de Mg^{2+} en savia en el invernadero, donde se muestran niveles mínimos en torno a 1.600 ppm en la zona central del invernadero, y niveles máximos 1.800 a 1.900 ppm en la zona este y oeste del invernadero. Lacoeyille y Martin-Prével (1971) considera que opera un fuerte antagonismo entre K^+ (Figura 7), Ca^{2+} y Mg^{2+} en las hojas de banano, de tal manera que, al aumentar el contenido foliar de potasio, disminuye el calcio y aún más el de magnesio.

CONCLUSIONES

En este trabajo se presentan valores de referencia de nutrientes en savia para cultivo de tomate bajo invernadero en periodo de otoño-invierno.

En el extracto celular, se presenta una disminución de la concentración de K^+ y $P-H_2PO_4^-$ a lo largo del cultivo, mientras que de $N-NO_3^-$, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- , y SO_4^- se aprecia una acumulación.

La distribución espacial de los nutrientes en savia no es homogénea y está relacionada con el punto de muestreo donde se observa una clara relación de antagonismo entre los aniones $N-NO_3^-$ y Cl^- , y entre los cationes K^+ , Na^+ y Mg^{2+} . También es destacable una fuerte relación entre la concentración de $P-H_2PO_4^-$ en savia y pH de la solución del suelo.

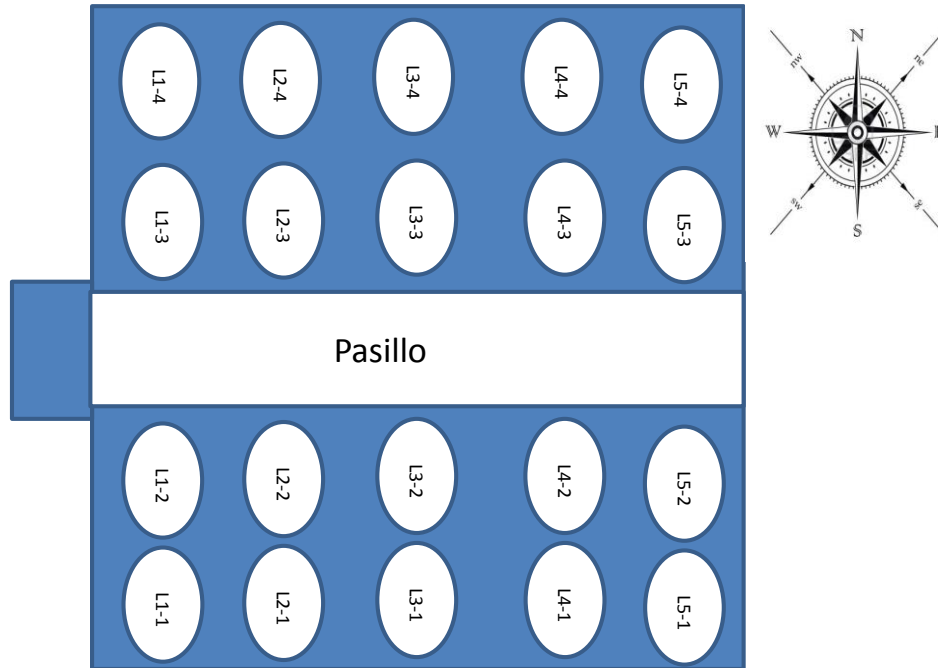
REFERENCIAS

- Alcaraza C.F., Romojaro F., Leona A. y Llorente S. 1982. Anionic relationships in leaf petiole sap of tomato and capsicum plants growing in a glasshouse. *Journal of Plant Nutrition* 5 (3): 173-181.
- Armenta B.D., Baca C.G., Alcántara G.G., Kohashi S.J., Valenzuela U.G. y Martínez G.A. 2001. Relaciones de nitratos y potasio en fertirriego sobre la producción, calidad y absorción nutrimental de tomate. *Rev. Chapingo Ser. Hort.* 7: 61-75.
- Bahrún, A., Jensen R.C., Asch, F. y Mogensen V. O. 2002. Drought-induced changes in xylem pH, ionic composition, field-grown maize (*Zea mays* L.). *Experimental Botany*, 251-263 pp
- Blumwald E. y Poole R.J. 1985. Na^+/H^+ antiport in isolated tonoplast vesicles from storage tissue of *Beta vulgaris*. *Plant physiology* 78:163-167.
- Bould C. 1983. Methods of diagnosing nutrient disorders in plants. En: Bould . C., Hewitt E., Needham P. (Ed) 1983. *Diagnosis of Mineral Disorders in Plants. Volume I. Principles*, HUSO, London, 111 – 136 pp.
- Cabezas González, M. J. (2010). Movilidad y distribución de nutrientes en el sistema enarenado bajo la técnica de fertirrigación en el cultivo de judía. Universidad de Almería, Escuela Politécnica Superior.
- Cadahía C. 1973. El análisis de la savia como índice de fertilización. *Manuales de la ciencia actual*, Consejo Superior de investigaciones Científicas, Madrid.
- Cadahía C. 1998. *Fertirrigación. Cultivos Horticolas y ornamentales*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 475 p.

- Cadahía C. 2008. Fertirrigación. La savia como índice de fertirrigación cultivos agroenergeticos, hortícolas, frutales y ornamentales. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 26 p.
- Cary R.P. 1971. The irrationality of using leaf analysis as a unique reference to citrus fertilizer requirement. In: R.M. Samish. Recent advances in plant nutrition. Vol. 1. Gordon and Breach Science Publishers. New York, USA.
- Castro-Brindis R., Sánchez-García P., Peña-Lomelí P., Alcantar-González G., Baca Castillo G. y López-Romero R.M.L. 2000. Niveles críticos, de suficiencia y toxicidad de $N-NO_3^-$ en el extracto celular de peciolo de tomate de cascara. Terra, 141-144.
- Chen J.H., y Barber S.A. 1990. Soil pH and phosphorus and potassium uptake by maize evaluated with an uptake model. Soil Sci. Soc. Am. J. 54:1032-1036.
- Constable G.A., I.J. Rochester J.H. Betts y Herridge D.F. 1991. Prediction of nitrogen fertilizer requirement in cotton using petiole and sap nitrate. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 22: 1315-1324.
- Cram W.J. 1973. Internal factors Regulating nitrate and chlorite influx in plant cells. J. of Exper. Botany. 24: 328-341.
- Fageria N.K., Baligar B.C. y Jones C.A. 1991. Growth and mineral nutrition of field crops. Marcel Dekker Inc., New York, USA.
- Fox R.H., Piekielek W.P. McNeal K.E., Schenk J.S. y Toth J.D. 1994. Quick test for assessing nitrogen fertilizer need of maize in humid regions. pp. 113-114. In: Vol. 5B. Memorias del 15° Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo. Acapulco, Gro., México.
- Gallardo M, Thompson R.B., Rodríguez J.S., Rodríguez F., Fernández M.D., Sánchez J.A. y Magán J.J. 2009. Simulation of transpiration, drainage, N uptake, nitrate leaching, and N uptake concentration in tomato grown in open substrate. Agric. Water Manag. 96: 1773-1784.
- García-García F. y Luque-Escalona A. 1981. Efecto Especifico de cloruros sobre la nutrición nitrogenada en plantas jóvenes de tomate. Anales de Edafología y Agrobiología. 40: 657-666.
- Gopa R. y Dube B.K. 2003. Influence of variable potassium on barley metabolism. Ann. Agric. Res. 24: 73-77.
- Havlin J.L., Beaton J.D., Tisdale S.L. y Nelson W.L., 1999. Soil Fertility and Fertilizers. An introduction to nutrient management, Sixth Edition, Prentice Hall, Inc. New Jersey 196 – 298 pp.
- Burgueño H., Uribe F. y Valenzuela M. 1999. Extracción de nutrientes por los cultivos de tomate y bell pepper en el valle de Culiacan, México. Información técnica Bursag SA de CV.
- Ho L.C. y Adams P. 1994. The physiological basis for high fruit yield and susceptibility to calcium deficiency in tomato and cucumber. J. Hort. Sci. 69 (2): 367-376.
- Huett D.O. y White, E. 1991. Determination of critical nitrogen concentrations of zucchini squash (*Cucurbita pepo* L.) cv. Blackjack grown in sand culture. Australian J. Exp. Agric. 31: 835-842.
- Kuzuhara Y., Isobe A., Awazuhara M., Fujiwara T. y Hayashi H., 2013. Glutathione levels in phloem sap of rice plants under sulfur deficient conditions. Soil Science and Plant Nutrition. 37-41.
- Leyva G., Sánchez P., Alcántar G., Valenzuela J. G., Gavi F. y Martínez Á. 2005. Contenido de nitratos en extracto celulares de peciolo y frutos de tomate. Fitotecnia Mexicana, 145-150.

- Lacoeuilhe J. y Matín- Prével P. 1971. Culture sur Milieu artificiel: Carences en K, Ca, Mg chez bananier: analyse foliare. *Fruits* 24(4):243-253.
- Lao M.T.2002. Gestión del fertirriego de los invernaderos de Almería mediante el uso de sondas de succión. Editorial: Servicio de publicaciones de la Universidad de Almería. 252 pp.
- Martínez-Grau M.A. y Csáky A.G. 1998. Técnicas Experimentales en Síntesis Orgánica. Ed. Síntesis. Madrid.
- Marschner H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants, Academic Press. Harcourt Brace & Company, Publishers, 2º ed. San Diego, U.S.A. 6-78 pp.
- Mathers H., 2000. Detection of mineral deficiencies in ornamentals. *GMPRO*. 16 (5) : 50 – 52 pp.
- Morard P. y Roucolle A. 1983 Diagnostic de la nutrition et controle de la fertilisation de la tomate et du concombre par l'analyse des sucs extraits de gourmands. *P.H.M. NU* 242: 37-41.
- Morard P. y Kerhoas J. 1982. Controle de la nutrition et de la fertilisation des cultures legumieres par l'analyse de sucs extraits des tissus conducteurs. (S.E.T.C.).C.R. Acad. Agric. de France.
- Muñoz González W. I. 2001. Evaluación de cinco elementos nutrientes en savia de rosa (*Rosa* sp L) cv. Classy bajo tres métodos de fertirriego en condiciones de alta y de baja luminosidad. Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.
- Nieto A., Murillo B., Troyo E., Larrinaga J. y García H.J.L. 2002. El uso de compostas como alternativa ecológica para la producción sostenible del chile (*Capsicum annuum* L.) e n zonas áridas. *Interciencia* 27: 417-421.
- Noh-Medina J., Borges-Gomez L. y Soria-Fregoso M. 2010. Composición nutrimental de biomasa y tejidos conductores en chile habanero. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 12(2): 219-228.
- Nublat A., Desplan, J., Casse F y Berthomieu P. 2001. SAS 1, an Arabidopsis mutant overaccumulating sodium in the shoot, shows deficiency in the control of the root radial transport of sodium. *The plant Cell*. 13: 125-137.
- Nzana B. 2006. Yield and quality of tomato as influenced by diferencial Ca, Mg, and K nutrition. Tesis de Máster Universidad de Pretoria. 116 pp
- Olías, R., Eljakaoui Z., Li J., Alvarez de Morales, P., Marín-Manzano M., Pardo, J. y Belver, A. 2009. The plasma membrane Na⁺/H⁺ antiporter SOS1 is essential for salt tolerance in tomato and affects the partitioning of Na⁺ between plant organs. *Plant, Cell and Environment*, 32(7):904–916.
- Pilbeam D. J, Kirkby E.A. 1990. the physiology of nitrate uptake nitrogen in higher plants. Y P abrol (ed) John Wiley and sons. N.Y. pp: 39-61.
- Schmidhalter, U. 1994. On-farm soil nitrate test. pp. 115-116. In: Vol. 5A Memorias del 15º Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo. Acapulco, Gro. México.
- Salisbury F.B. y Ross, C.W. 2.000. Fisiología de las Plantas. Células: agua, soluciones y superficies. Paraninfo Thompson Learning Ed. Madrid, España. 235-243 pp.
- Steucek C.G. y Koontz H.V.1970. Phloem mobility of magnesium. *Plant Physiology* 46: 50-52
- Segura M.L. 1995. Fertirrigación de cultivos hortícolas en condiciones salinas con sistema enarenado y sustratos alternativos. Comarca Agrícola de Almería. Universidad Autónoma de Madrid.

- Shedeed S.I., Zaghoul S.M. y Yassen A.A. 2009. Effect of Method and Rate of Fertilizer Application under Drip Irrigation on Yield and Nutrient Uptake by Tomato. *Ozean Journal of Applied Sciences* 2(2): 139-147.
- Tjellström H., Andersson M.X., Larsson K.E. y Sandelius A.S. 2008. Membrane phospholipids as a phosphate reserve: the dynamic nature of phospholipid-to-digalactosyl diacylglycerol exchange in higher plants. *Plant, Cell and Environment* 31: 1388-1398 pp.
- Westcott M.P. y Knox M.L. 1994. Kinetics of soil-plant nitrate relations in potato and peppermint: a model for derivative diagnosis. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 25: 469-478.
- Widders I. y Lorenz O.A. 1982. Ontogenic changes in potassium transport in xylem of tomato. In: *Physiologia Plantarum*, Volume 56 (4): 458-464.
- White P.J. y Broadley M.R. 2001. Chloride in soils and its uptake and movement within plant: a review. *Annals of botany* 88:967-988.
- Yokoi, S., Bressanray, A. y Hasegawa P. 2002. Salt stress tolerance of plants. *JIRCAS Working Report* 25-33.



Esquema 1. Muestra los puntos de muestro seleccionados en el invernadero

Tabla 1. Concentraciones medias, mínimas, máximas de Cl^- , $\text{N}(\text{NO}_3^-)$, $\text{P}(\text{H}_2\text{PO}_4^-)$, $\text{S}(\text{SO}_4^{2-})$, K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} en savia expresadas en ppm.

Elemento	Concentración (ppm)			
	Promedio	Min	Max	CV
Cl^-	11.203	8.689	14.498	11%
$\text{N}(\text{NO}_3^-)$	1.252	810	1.633	17%
$\text{P}(\text{H}_2\text{PO}_4^-)$	40	13	223	91%
$\text{S}(\text{SO}_4^{2-})$	1.911	1.684	2.905	6%
Na^+	5.517	4.095	7.581	13%
K^+	4.533	3.010	6.457	16%
Ca^{2+}	5.546	4.094	7.557	11%
Mg^{2+}	1.687	1.007	2.287	18%

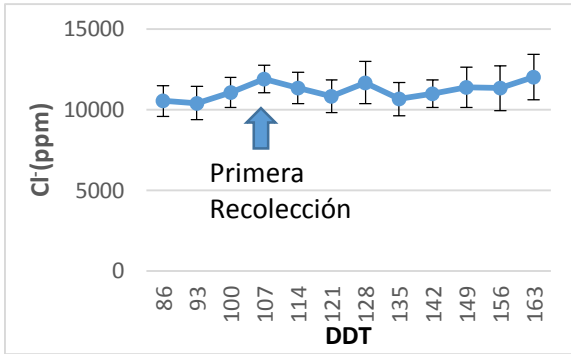


Figura 1. Concentración de Cl⁻ en savia a lo largo del cultivo.

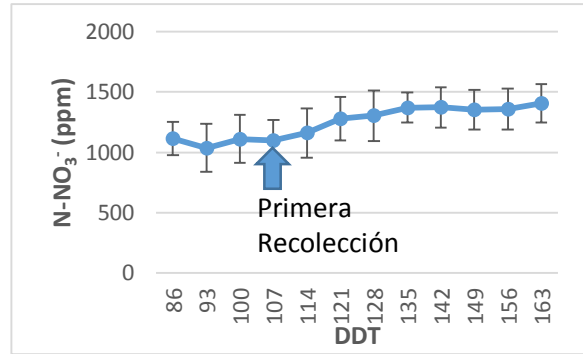


Figura 2. Concentración de N-NO₃⁻ en savia a lo largo del cultivo.

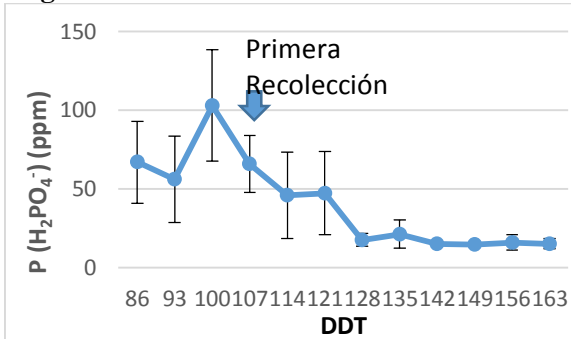


Figura 3. Concentración de P-(H₂PO₄⁻) en savia a lo largo del cultivo.

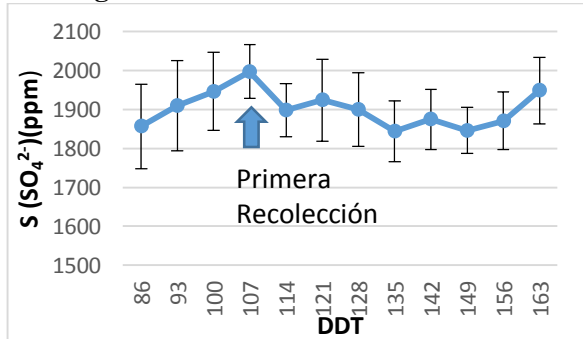


Figura 4. Concentración de SO₄²⁻ en savia a lo largo del cultivo.

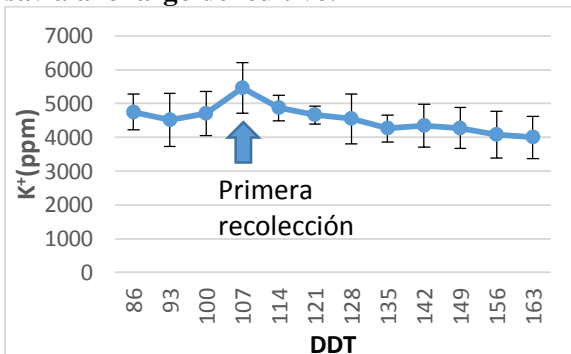


Figura 5. Concentración de K⁺ en savia a lo largo del cultivo.

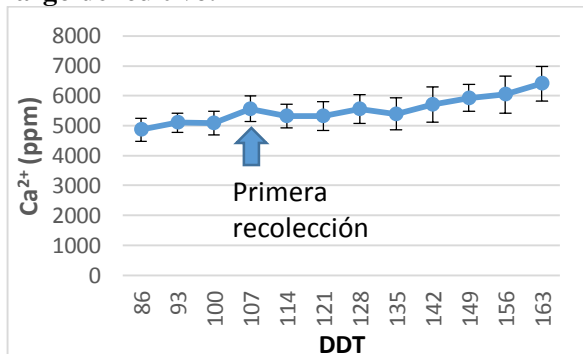


Figura 6. Concentración de Ca²⁺ en savia a lo largo del cultivo.

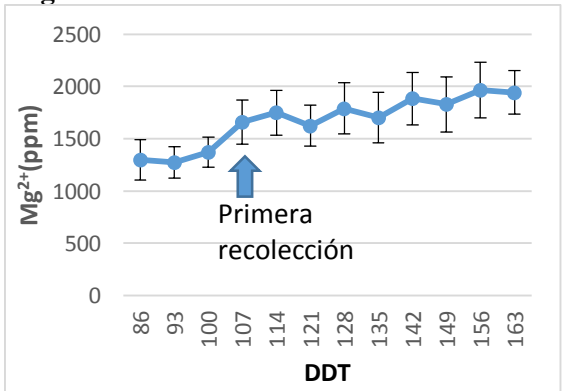


Figura 7. Concentración de Mg²⁺ en savia a lo largo del cultivo.

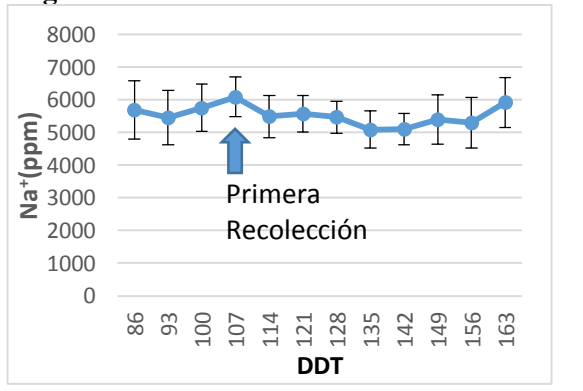


Figura 8. Concentración de Na⁺ en savia a lo largo del cultivo.

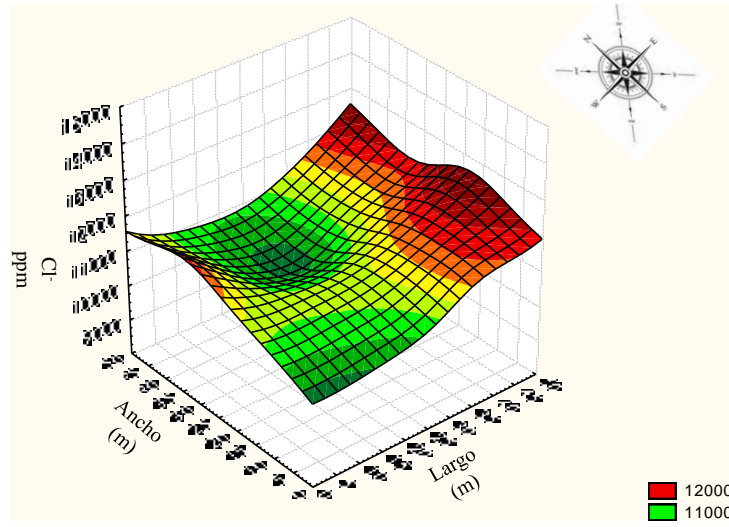


Figura 9. Mapa de las concentraciones de Cl^- en savia en invernadero

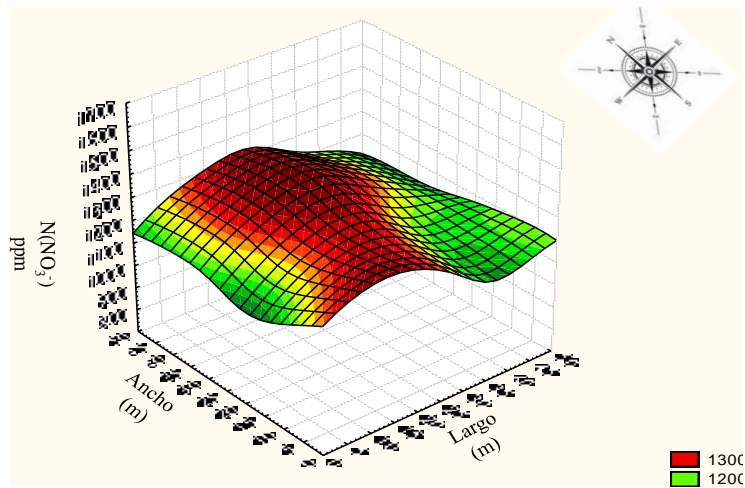


Figura 10. Mapa de las concentraciones de $\text{N}-(\text{NO}_3^-)$ en savia en invernadero.

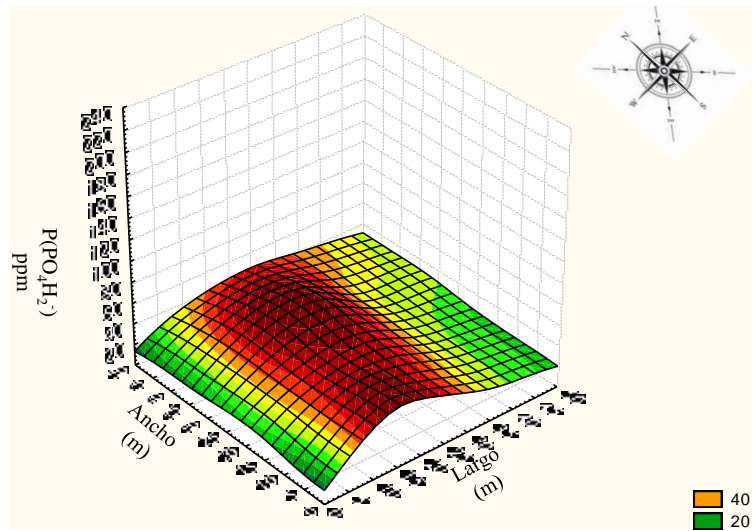


Figura 11. Mapa topográfico de las concentraciones P (H_2PO_4^-) en savia en invernadero.

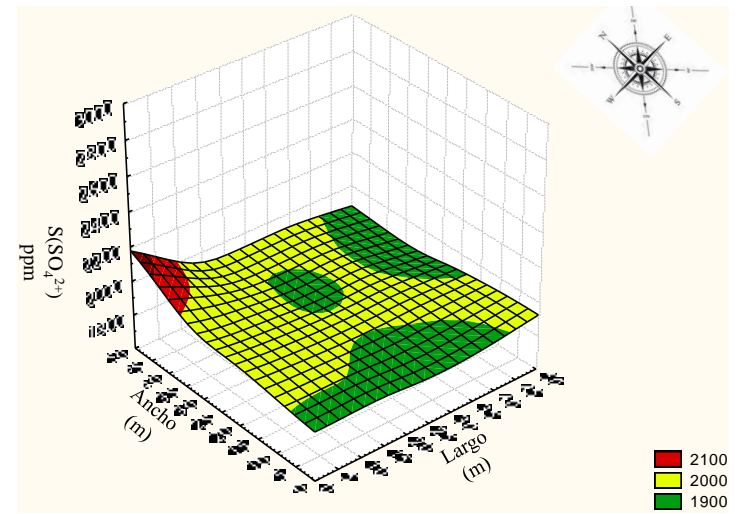


Figura 12. Mapa topográfico de las concentraciones de S- (SO_4^{2-}) en savia en invernadero.

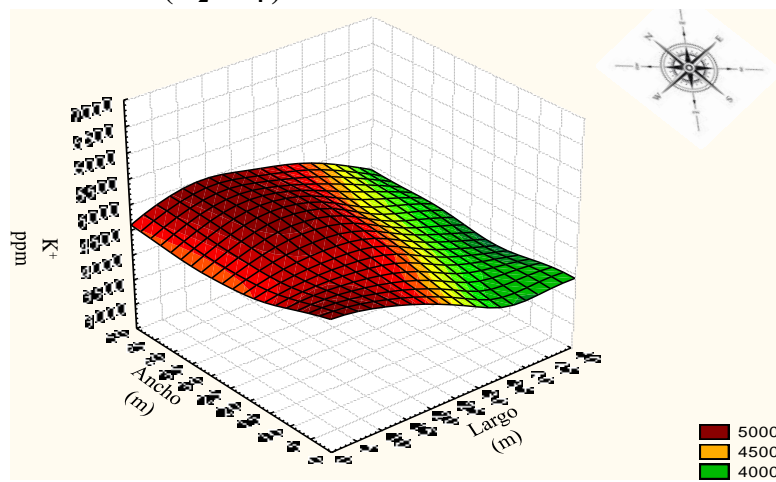


Figura 13. Mapa topográfico de las concentraciones de K^+ en savia en invernadero.

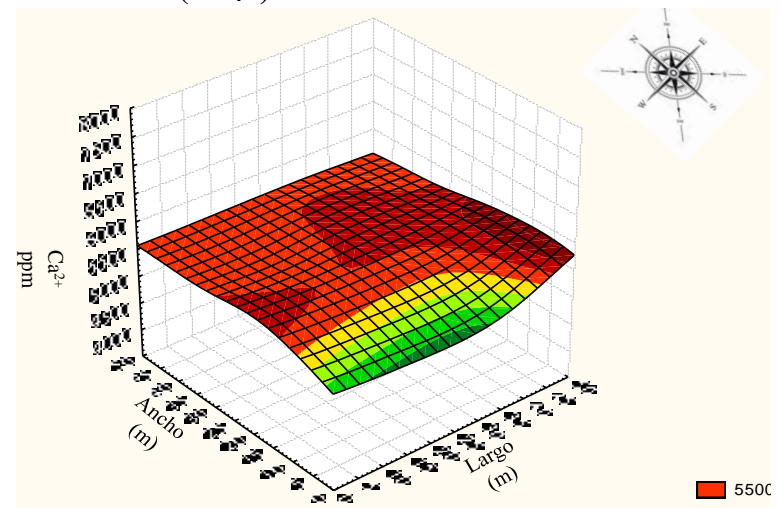


Figura 14. Mapa topográfico de las concentraciones de Ca^{2+} en savia en invernadero.

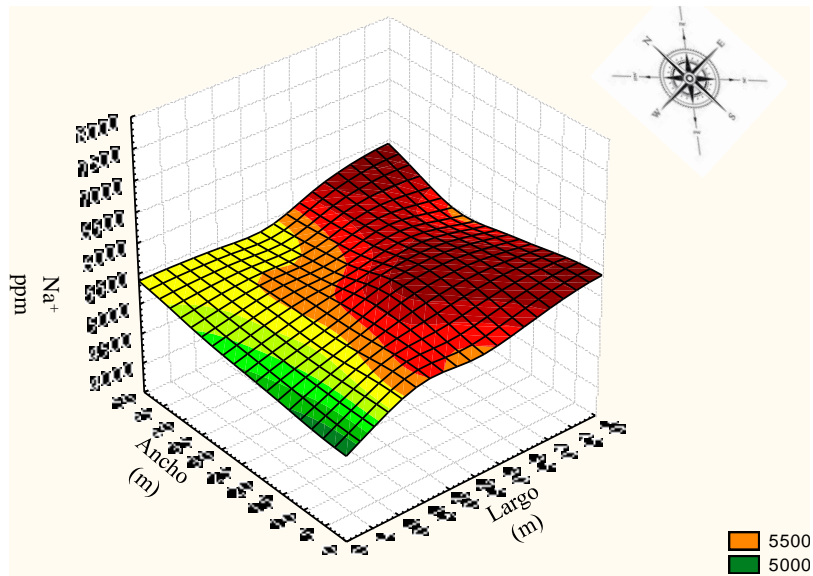


Figura 16. Mapa topográfico de las concentraciones de Na^+ en savia en invernadero.

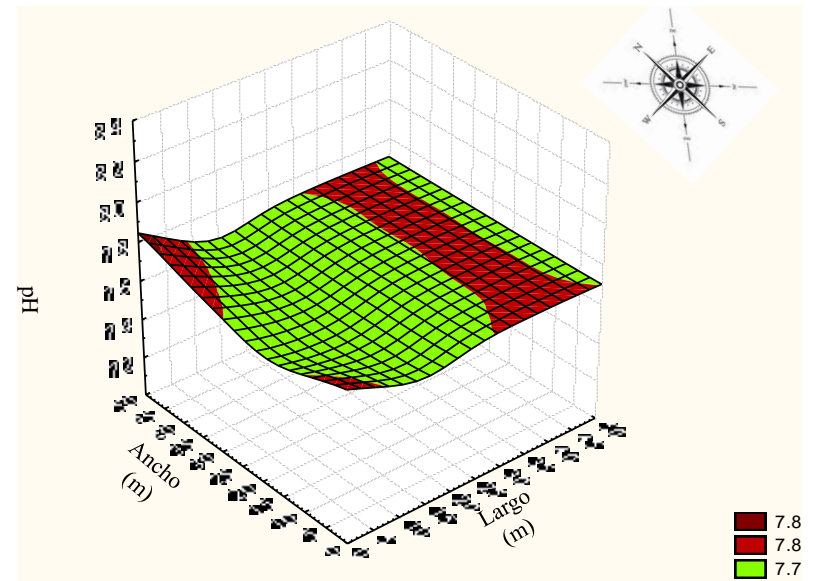


Figura 17. Mapa topográfico de pH de la solución de suelo en el invernadero.

