

Application of chelated Mn, Zn or Cu rather than their sulphate salts, prevented loss of chelated Fe-DTPA in the nutrient solution and increased yield of hydroponically grown tomato plants up to 15%

La aplicación de quelatos de Mn, Zn o Cu en lugar de sus sales de sulfatos correspondientes, evitó la pérdida de quelato Fe-DTPA en la solución nutritiva e incrementó hasta un 15% el rendimiento de plantas de tomate cultivadas hidropónicamente

Without Fe chelates, growing high-yielding crops in hydroponics or other water culture systems would be quite difficult. The molecule DTPA is the standard chelate for iron-fertilisers in modern hydroponic systems. However, unchelated other metal cations - dissolved in a nutrient solution - can compete with Fe for the DTPA molecule.

This can result in a loss of plant-available Fe. In a scientifically set up greenhouse trial with tomato on rockwool slabs, the application of Fe- DTPA (Ultrasol® micro Rexene® FeD12) at 7 or 10 umol Fe/L resulted in a higher root zone concentration of Fe when applied with Zn, Cu and Mn chelated with EDTA, compared to co-application of their sulphate salts with Ultrasol® micro Rexene® FeD12.

Sin los quelatos de Fe, el crecimiento de cultivos hidropónicos de alto rendimiento y otros sistemas de cultivos sería difícil. La molécula DTPA es el quelato estándar para fertilizantes de Fe en los sistemas hidropónicos modernos. Sin embargo, otros cationes metálicos no quelatados - disueltos en una solución nutritiva - pueden competir con el Fe por la molécula DTPA.

Esto puede generar una pérdida de disponibilidad de Fe en la planta. En un ensayo de invernadero establecido científicamente con tomate sobre bolsas de lana de roca, la aplicación Fe-DTPA (Ultrasol® micro Rexene® FeD12) de 7 ó 10 umol Fe/L produjo una mayor concentración de Fe en la zona de raíces cuando se aplicó con Zn, Cu y Mn quelatado con EDTA, en comparación con la aplicación conjunta de las sales de sulfato con Ultrasol® micro Rexene® FeD12.



Application of chelated Mn, Zn or Cu rather than their sulphate salts, prevented loss of chelated Fe-DTPA in the nutrient solution and increased yield of hydroponically grown tomato plants up to 15%

La aplicación de quelatos de Mn, Zn o Cu en lugar de sus sales de sulfatos correspondientes, evitó la pérdida de quelato Fe-DTPA en la solución nutritiva e incrementó hasta un 15% el rendimiento de plantas de tomate cultivadas hidropónicamente

The loss of chelated iron due to co-application with sulphate salts of Zn, Cu or Mn is now confirmed in a published scientific paper for crops grown on inert media like rockwool.

Reference: Bin, L.M., Moerkens, R., Noordam, A., van Aert, R. and Bugter, M.H.J. (2020). The effect of chelating Zn, Cu and Mn on plant Fe nutritional status of hydroponically grown tomato plants. *Acta Hort.* 1273, 199-206. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2020.1273.27>

La pérdida de hierro quelatado debido a la aplicación conjunta con sales de sulfato de Zn, Cu o Mn ahora se confirma en un artículo científico publicado para cultivos que han crecido en medios inertes como lana de roca.

Reference: Bin, L.M., Moerkens, R., Noordam, A., van Aert, R. and Bugter, M.H.J. (2020). The effect of chelating Zn, Cu and Mn on plant Fe nutritional status of hydroponically grown tomato plants. *Acta Hort.* 1273, 199-206. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2020.1273.27>

A higher availability of micronutrients when all were applied in their chelated forms resulted in a higher average chlorophyll content (measured by SPAD), and a 15% higher cumulative fruit yield (67 kg/m² all chelated vs 58 kg/m² Zn, Cu, Mn as sulphate salts) at the dose of 7 µmol Fe-DTPA/L in the nutrient solution.

Se generó una mayor contenido promedio de clorofila (medido por SPAD) al tener una mayor disponibilidad de micronutrientes aplicados en sus formas quelatadas, y se generó un 15% de rendimiento acumulativo de fruta (67 kg/m² con micronutrientes quelatados frente a 58 kg/m² de sales de sulfatos de Zn, Cu y Mn) a la dosis de 7 µmol Fe-DTPA/L en la solución nutritiva.

Crops need iron (Fe) to produce chlorophyll, the green pigment which is essential for photosynthesis. This is the reason why iron deficiency in plants can become visible as chlorosis – yellowing of leaves. Even less visible reductions in chlorophyll content in leaves result in lower carbon fixation and ultimately in lower marketable crop yields.

In substrate-grown crops, it is challenging to ensure a sufficient supply of Fe in a form that is available for uptake by the crop. Under practical pH levels, Fe added in the nutrient solution will precipitate. This occurs readily when the pH reaches levels over pH > 7 in soils and can already happen at pH levels > 4 in nutrient solutions or hydroponics.

Los cultivos necesitan de hierro (Fe) para producir clorofila, pigmento verde fundamental para la fotosíntesis. Esta es la razón por la que la deficiencia férrica en plantas puede llegar a ser visible como clorosis – amarillamiento de hojas. Incluso las reducciones menos visibles en el contenido de clorofila en las hojas dan como resultado una menor fijación de carbono y, en última instancia, menores rendimientos comerciales de los cultivos.

En cultivos desarrollados sobre sustratos, es más complejo garantizar un suficiente suministro de Fe en una forma disponible para absorción por el cultivo. Bajo niveles prácticos de pH, el Fe agregado en la solución nutritiva precipitará. Esto ocurre fácilmente cuando el pH alcanza niveles superiores a pH > 7 en suelos, e incluso puede ocurrir a niveles de pH > 4 en soluciones nutritivas o hidroponía.



Application of chelated Mn, Zn or Cu rather than their sulphate salts, prevented loss of chelated Fe-DTPA in the nutrient solution and increased yield of hydroponically grown tomato plants up to 15%

La aplicación de quelatos de Mn, Zn o Cu en lugar de sus sales de sulfatos correspondientes, evitó la pérdida de quelato Fe-DTPA en la solución nutritiva e incrementó hasta un 15% el rendimiento de plantas de tomate cultivadas hidropónicamente



Levi Bin
(Technical Development Manager)
Levi.Bin1@Nouryon.com
or Marcel.Bugter@Nouryon.com

The reason for this is that under neutral to basic pH conditions, Fe exists in water in largely insoluble hydroxide forms. In complete nutrient solutions the solubility of iron is even more compromised by potential precipitation with phosphates or carbonates. Therefore, the application of Fe as simple salt (for example iron sulfate) in these systems quickly leads to precipitation, rendering iron unavailable for uptake by the crop.

Since the first introduction of the use of EDTA-chelate as a stable and effective method to provide Fe to crops growing in water culture, this practice very soon became widely accepted among growers, and has been replaced since then by an improved chelate for iron, DTPA. The success of Fe-DTPA is related to its stability under a broader pH range compared to Fe-EDTA (approximately pH 1,5 – 6,5 for Fe-EDTA versus pH 1,5 – 7,5 for Fe-DTPA), providing a more secure and stable Fe supply to hydroponically grown crops.

La razón de esto es que, bajo condiciones de pH neutro a básico, se produce Fe en el agua en formas de hidróxidos altamente insolubles. En soluciones completas de nutrientes la solubilidad del Fe está aún más comprometido por la precipitación potencial con carbonatos o fosfatos. En consecuencia, la aplicación de Fe como una sal simple (como sulfato de hierro) en estos sistemas conduce rápidamente a la precipitación, produciendo que el hierro no esté disponible para la absorción por el cultivo.

Desde la primera introducción del uso de Fe-EDTA como un método efectivo y estable para suministrar Fe a cultivos en agua, esta práctica llegó a ser ampliamente aceptada entre los productores, y desde entonces ha sido reemplazada por un quelato mejorado para el hierro, DTPA. El éxito de Fe-DTPA está relacionado a su estabilidad bajo un rango de pH más amplio en comparación con Fe-EDTA (aproximadamente pH 1,5 – 6,5 para Fe-EDTA versus pH 1,5 – 7,5 para Fe-DTPA), que proporciona un suministro de Fe más seguro y estable a los cultivos que se desarrollan hidropónicamente.

This experiment shows that application of unchelated Mn, Zn and Cu with Fe-DTPA result in lower plant performance and lower yield. This reiterates the importance of providing correct micronutrient nutrition to crops growing on inert substrate, like rockwool or sandy soils with low CEC capacity. Not providing sufficient levels of micronutrients, or not providing specific micronutrients in the correctly chelated form can be a cause of suboptimal yields.

Los resultados de este experimento demostraron que la aplicación de Mn, Zn y Cu no quelatados con Fe-DTPA resultan en un menor desempeño y rendimiento de la planta. Esto reitera la importancia de proveer la correcta nutrición de micronutrientes a los cultivos que crecen en sustratos inertes como lana de roca o suelos arenosos con baja capacidad CEC. El no proveer suficientes niveles de micronutrientes o no proveer micronutrientes específicos en la adecuada forma quelatada puede resultar en rendimientos insuficientes.

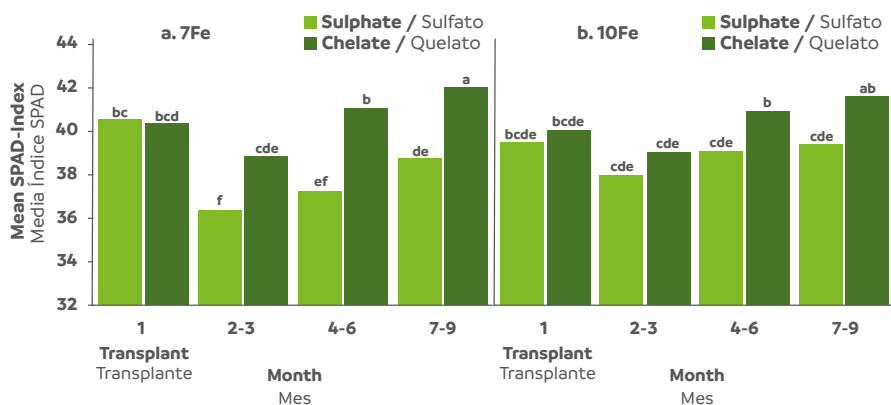


Figure 1. Development of SPAD-index over time. Letters denote statistically significant differences (Tukey's range test $\alpha \leq 0,05$). a. $7 \mu\text{mol}$ Fe-DTPA/L nutrient solution, b. $10 \mu\text{mol}$ Fe-DTPA/L nutrient solution. Sulphate: Cu, Mn and Zn added as sulphate salts, Chelate: Cu, Mn and Zn added in EDTA chelated form.

Figura 1. Desarrollo del índice SPAD a lo largo del tiempo. Las letras denotan diferencias estadísticamente significativas (Prueba de Rango de Tukey $\alpha \leq 0,05$). a. $7 \mu\text{mol}$ de solución de nutrientes Fe-DTPA / L, b. Solución de nutrientes FeDTPA / L de $10 \mu\text{mol}$. Sulfato: Cu, Mn y Zn añadidos como sales de sulfato, Quelato: Cu, Mn y Zn añadidos en forma quelada con EDTA.



Application of chelated Mn, Zn or Cu rather than their sulphate salts, prevented loss of chelated Fe-DTPA in the nutrient solution and increased yield of hydroponically grown tomato plants up to 15%

La aplicación de quelatos de Mn, Zn o Cu en lugar de sus sales de sulfatos correspondientes, evitó la pérdida de quelato Fe-DTPA en la solución nutritiva e incrementó hasta un 15% el rendimiento de plantas de tomate cultivadas hidropónicamente

However, iron can be replaced from the DTPA chelate by other metal cations that are essential for plant growth, like copper (Cu), manganese (Mn) or zinc (Zn), when they are added in the same nutrient solution in their sulphate forms (CuSO₄, MnSO₄, ZnSO₄). With the cations taking the place of Fe, Fe precipitates and becomes unavailable for the plant. It is recommended to apply these cations fully chelated with EDTA to prevent the loss of production associated with the lower availability of micronutrients.

In this trial, the loss of Fe and associated loss of production was compared between a nutrient solution containing all of these micronutrients in their chelated forms, and a nutrient solution where only Fe was applied as DTPA chelate. Additionally, two levels of Fe in the nutrient solution were included.

The trial was set up in a modern greenhouse at the Research Centre Hoogstraten (Belgium) on a commercially important truss tomato cultivar – Merlice - during its entire production cycle (January – November). Plants were grafted on the rootstock Maxifort, planted in rockwool substrate slabs and a stem density of 3,3 stems/m² was maintained.

Sin embargo, el hierro puede ser reemplazado desde el quelato DTPA por otros cationes metálicos que son esenciales para el crecimiento de la planta, como cobre (Cu), manganeso (Mn) o Zinc (Zn), cuando son adicionados en la misma solución de nutrientes en sus formas de sulfato (CuSO₄, MnSO₄, ZnSO₄). Con los cationes que reemplazan el hierro, los precipitados de Fe no alcanzan a estar disponibles para la planta. Se recomienda aplicar estos cationes completamente quelatados con EDTA para prevenir la pérdida de producción asociada con la menor disponibilidad de nutrientes.

En este ensayo, la pérdida de Fe y pérdida asociada a la producción fue comparada entre una solución de nutrientes que contiene todos estos en sus formas quelatadas, y una solución nutritiva donde el hierro fue aplicado sólo como quelato de DTPA. Adicionalmente se incluyeron dos niveles de hierro en la solución de nutrientes.

El ensayo fue realizado en un moderno invernadero en el Centro de Investigación Hoogstraten (Bélgica) sobre un importante cultivar de tomate de racimo comercial – Merlice – durante su ciclo de producción completo (Enero – Noviembre). Las plantas fueron injertadas sobre el portanjerito Maxifort, plantadas en bolsas de sustrato de lana de roca, manteniendo una densidad de cultivo de 3,3 tallos/m².



Figure 2. Measuring SPAD-index of tomato leaves during the trial.
Figura 2. La medición del índice SPAD de hojas de tomate durante el ensayo.



Application of chelated Mn, Zn or Cu rather than their sulphate salts, prevented loss of chelated Fe-DTPA in the nutrient solution and increased yield of hydroponically grown tomato plants up to 15%

La aplicación de quelatos de Mn, Zn o Cu en lugar de sus sales de sulfatos correspondientes, evitó la pérdida de quelato Fe-DTPA en la solución nutritiva e incrementó hasta un 15% el rendimiento de plantas de tomate cultivadas hidropónicamente

Trial details

The treatments were implemented in a 2-factorial design with two nutrient solution compositions ("Chelate": all micronutrients chelated vs. "Sulphate": only Fe chelated), and two variations of Fe concentration (7 $\mu\text{mol Fe/L}$ (7Fe) vs 10 $\mu\text{mol/L Fe}$ (10Fe)). All other nutrients were supplied on the advice of a crop advisor (Table 1). The pH in the nutrient solution measured over time varied between 4,8 and 5,1 in the drip, and between 5,8 and 6,2 in the drain. The treatments were applied using two separate water systems for the factor Chelate vs Sulphate, and separated gutters for the factors 7Fe vs 10Fe. The results of treatments were analysed on a total of 64 stems, divided over four production plots.

Leaf chlorophyll production was monitored on the youngest fully expanded leaf, with weekly SPAD-index measurements following a standardised protocol. SPAD-measurements are often employed for a rapid, non-destructive estimate of leaf chlorophyll concentrations based on absorbance of light of specific wavelengths by the surface of the leaf (Figure 2). In general differences in this parameter correlate well with differences in chlorophyll concentration in the leaf induced by variations in Fe supply to the plant. Additionally the concentration of Fe in the irrigation water and the drain water was analysed two times per month. Also the effect on total fruit yield, fruit weight and blossom end rot (BER) and calcium concentration in the fruit was assessed.

Detalles del ensayo

Los tratamientos fueron implementados en un diseño factorial 2 con dos composiciones de solución de nutriente ("Quelato": todos los micronutrientes quelatados vs "Sulfato": solo Quelato de Fe), y dos variaciones de concentración de hierro (7 $\mu\text{mol Fe/L}$ (7Fe)) vs 10 $\mu\text{mol/L Fe}$ (10Fe). Todos los demás nutrientes se suministraron bajo la supervisión de un asesor de cultivos (Tabla 1). El pH en la solución de nutrientes fue medido a lo largo del tiempo, variando entre 4,8 a 5,1 en el goteo, y entre 5,8 a 6,2 con drenaje. Los tratamientos fueron aplicados usando dos sistemas de agua separados por el factor Quelato vs Sulfato, y por canaletas separadas para los factores 7Fe vs 10Fe. Los resultados de los tratamientos se analizaron sobre un total de 64 tallos, divididos en cuatro parcelas de producción.

La producción de clorofila foliar fue monitoreada en las hojas jóvenes completamente expandidas, con mediciones semanales de índice SPAD siguiendo un protocolo estandarizado. Las mediciones SPAD son empleadas frecuentemente para una estimación rápida y no destructiva de la concentración de clorofila foliar basada en la absorbancia de luz en una longitud de onda específica en la superficie de la hoja (Figura 2). En términos generales este parámetro se correlaciona bien con diferencias entre la concentración de clorofila foliar inducida por variaciones en el suministro de a la planta. Adicionalmente, se analizó bimensualmente la concentración de hierro en el agua de riego y en el agua de drenaje. También se midieron el efecto sobre el rendimiento total de fruta, peso de la fruta y pudrición apical (BER) y concentración de Ca en la fruta.

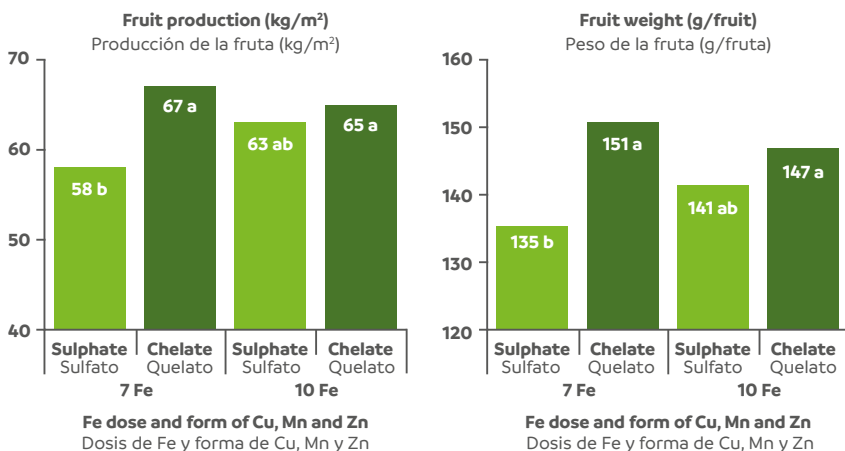


Figure 3. Average total fresh tomato yield and fruit weight as determined for the entire trial period. Letters denote statistically significant differences (Tukey's range test $\alpha \leq 0,05$).

Figura 3. Promedio total de rendimiento de tomate fresco y peso de fruto determinado para el período total del ensayo. Las letras denotan diferencias estadísticamente significativas. (Prueba de Rango de Tukey $\alpha \leq 0,05$)



Application of chelated Mn, Zn or Cu rather than their sulphate salts, prevented loss of chelated Fe-DTPA in the nutrient solution and increased yield of hydroponically grown tomato plants up to 15%

La aplicación de quelatos de Mn, Zn o Cu en lugar de sus sales de sulfatos correspondientes, evitó la pérdida de quelato Fe-DTPA en la solución nutritiva e incrementó hasta un 15% el rendimiento de plantas de tomate cultivadas hidropónicamente



Results Highlights

Throughout the crop cycle, no Fe deficiency-related chlorosis was observed in the plants. However, the SPAD-index was higher for the “Chelate” than for the “Sulphate” treatments in each evaluation after transplant (Figure 1 a. (7Fe) and b. (10Fe)). Correspondingly, the Fe concentration in the irrigation water and the drain water was highest for the “Chelate” compared to the “Sulphate” treatments (Table 2). This illustrates that although plants may not show visual deficiency symptoms, a nutrient may still be deficient, limiting optimal growth.

The fruit yield was 4-6% higher for the “Chelate” vs the “Sulphate” treatments, with the greater difference at the 7Fe rate. This difference was mainly explained by a higher average fruit weight in “Chelate” treatments (Figure 3). The pH of the nutrient solution in this experiment was carefully controlled, with a maximal value of 6,2 measured in the drain water. In cropping systems where the water quality, fertigation units or plant physiological reactions at the root zone may lead to a more steep increase of pH in the root zone, the loss of Fe and corresponding yield loss, may be even more notable.

Incidence of BER was less than 1% in the entire trial, but as an interesting finding, the “Chelate” treatments resulted in a statistically lower BER incidence compared to the sulphate treatment at the suboptimal dose of 7Fe, corresponding to a slightly lower Ca concentration in the dry matter of fruits (Figure 4). An lowered photosynthetic activity of the plants in the 7Fe/ Sulphate treatment, and correspondingly lower transpiration, may have resulted in a lower Ca translocation to the fruits, explaining this observation.



Resultados Destacados

A lo largo del ciclo del cultivo, no se observó clorosis en las plantas asociada a la carencia de Fe. Sin embargo, el índice SPAD fue mayor para el tratamiento con quelato que para el tratamiento con “sulfato” en cada evaluación después del trasplante (Figura 1 a. (7Fe) y b. (10Fe)). Correspondientemente, la concentración de Fe en el agua de riego y el agua de drenaje fue mayor para el tratamiento de quelato comparado con el de sulfato (Tabla 2). Esto ilustra que a pesar de que plantas pueden no demostrar síntomas visuales de deficiencia, un determinado nutriente puede aún ser deficiente, limitando el crecimiento óptimo.

El rendimiento frutal fue 4 a 6% más alto para los tratamientos de quelato vs sulfato, con la mayor diferencia a la dosis 7Fe. Esta diferencia se explica principalmente por un mayor promedio de peso de fruta en tratamientos con “quelato” (Figura 3). El pH de la solución de nutrientes fue cuidadosamente controlado, con un valor máximo medido de 6,2 en el agua de drenaje. En los sistemas de cultivo donde la calidad de agua o unidades de fertirrigación conducen a un incremento más abrupto en la zona de las raíces; la pérdida de Fe y la correspondiente pérdida de rendimiento, pueden ser aún más notables.

La incidencia de BER fue inferior al 1% en todo el ensayo, pero se detectó un interesante hallazgo, pues los tratamientos “quelato” presentaron resultados de BER estadísticamente más bajos comparado al tratamiento de sulfato a la dosis subóptima de 7Fe, correspondiendo a una levemente inferior concentración de Ca en la materia seca del fruto (Figura 4). Una actividad fotosintética disminuida de las plantas en el 7Fe/tratamiento con sulfato y, en consecuencia, menor transpiración, puede haber resultado en una menor translocación de Ca a las frutas, explicando esta observación.

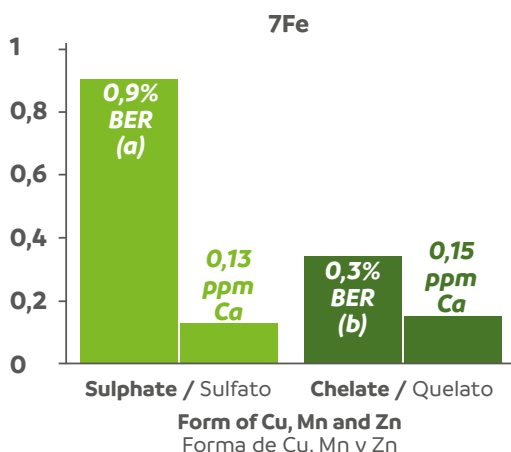


Figure 4. Average blossom end rot incidence (% BER) throughout the harvest period (Letters denote statistically significant differences (Tukey's range test $\alpha \leq 0,05$), and analyses of calcium concentration in the fruit dry matter (ppm Ca) at the dose rate of 7 μmol Fe-DTPA with Cu, Mn and Zn added either as sulphate salts or in EDTA chelated form.

Figura 4. Incidencia promedio de pudrición calicinal (% BER) durante todo el período de cosecha (las letras indican diferencias estadísticamente significativas (Prueba de Rango de Tukey $\alpha \leq 0,05$) y análisis de la concentración de calcio en la materia seca de la fruta (ppm Ca) a la dosis de 7 μmol de Fe-DTPA con Cu, Mn y Zn añadidos como sales de sulfato o en forma quelada con EDTA.



Application of chelated Mn, Zn or Cu rather than their sulphate salts, prevented loss of chelated Fe-DTPA in the nutrient solution and increased yield of hydroponically grown tomato plants up to 15%

La aplicación de quelatos de Mn, Zn o Cu en lugar de sus sales de sulfatos correspondientes, evitó la pérdida de quelato Fe-DTPA en la solución nutritiva e incrementó hasta un 15% el rendimiento de plantas de tomate cultivadas hidropónicamente

Table 1. Applied levels of both macro- and micronutrients over time. Nutrient levels are given in mmol/L except for Fe, Mn, Zn, B, Cu and Mo which are given in $\mu\text{mol/L}$. After 7 June the levels were unchanged till the end of the trial period. *Adjusted due to Mg deficiency from the beginning of July. Agregar al título de la tabla lo siguiente: The numbers in this table are rounded off, please read the original publication for the specification in 2 decimal precision.

Cuadro 1. Niveles aplicados de macro y micronutrientes a lo largo del tiempo. Los niveles de nutrientes se dan en mmol/L, excepto para Fe, Mn, Zn, B, Cu y Mo que se dan en $\mu\text{mol/L}$. Después del 7 de junio, los niveles no cambiaron hasta el final del período de prueba. *Ajustado por deficiencia de Mg desde principios de julio. Los números de esta tabla están redondeados, consulte la publicación original para conocer la especificación en precisión de 2 decimales.

Nutrient Nutriente	Start Inicio	2-Mar	15-Mar	12-Apr	26-Apr	7-Jun
NH ₄	1	0	1	1	1	1
NO ₃	21	18	20	23	24	25
H ₂ PO ₄	3	2	3	3	3	2
K	13	10	11	15	15	15
Ca	6	7	6	6	6	7
Mg	4	3	3	1	1	1 (2)*
Cl	4	3	2	2	2	2
SO ₄	4	3	3	1	0,3	0,4
Fe	7/10	7/10	7/10	7/10	7/10	7/10
Cu	2	1	1	1	0,1	1
Mn	23	16	18	22	25	29
Zn	8	5	4	1	4	2
B	82	44	38	9	14	26
Mo	1	1	1	1	1	1

Fe-DTPA dose Dosis Fe-DTPA	7 Fe		10 Fe	
	Sulphate Sulfato	Chelate Quelato	Sulphate Sulfato	Chelate Quelato
Drip solution Solución goteo	13	16	18	22
Drain water Agua drenaje	7	14	12	21

Table 2. Average Fe concentration ($\mu\text{mol/L}$) in the drip solution and rockwool slabs (drain water).

Cuadro 2. Promedio de concentración de Fe ($\mu\text{mol/L}$) en la solución de goteo y bolsas de lana de roca (agua de drenaje)