



Incidencia de las nanopartículas de calcio y magnesio sobre la productividad del limón Eureka

Calcium and magnesium nanoparticle incidence on lemon productivity

✉ **María de las Mercedes Yfran Elvira***, ✉ **Marco D Chabbal Monzón**,
✉ **Analia B Píccoli Delbón**, ✉ **Laura I Giménez**

Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Nordeste (UNNE). Sargento Cabral 2131, Corrientes, Argentina. CP 3400

RESUMEN: El calcio y magnesio son elementos esenciales en la nutrición vegetal y actualmente en el mercado existen fertilizantes constituidos por nanopartículas de Dolomita, que permiten incorporarlos al suelo o vía foliar. El objetivo de este trabajo fue evaluar la incidencia de la nanofertilización de calcio/magnesio sobre la productividad, nutrición foliar y calidad de fruta del limón Eureka. Se evaluaron los siguientes cinco tratamientos: 1- Testigo; 2- nanopartículas Ca (9,8 %)-Mg (5,9 %) 2 L ha⁻¹ [vía foliar]; 3- nanopartículas Ca (9,8 %)-Mg (5,9 %) 4 L ha⁻¹ [vía foliar]; 4- nanopartículas Ca (9,8 %)-Mg (5,9 %) 2 L ha⁻¹ [aplicado al suelo]; 5- nanopartículas Ca (9,8 %)-Mg (5,9 %) 4 L ha⁻¹ [aplicado al suelo], distribuidos en un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones y cuatro plantas por repetición. Se tomaron muestras foliares en marzo, en dos campañas consecutivas, determinándose concentraciones de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio. A la cosecha se seleccionaron 40 frutos por parcela experimental, evaluándose diámetro ecuatorial, porcentaje de jugo, producción en kilogramos por planta, contenido de sólidos solubles totales, acidez titulable e índice de madurez. La nanofertilización de calcio/magnesio aplicado vía foliar 2 L ha⁻¹ y aplicado al suelo 4 L ha⁻¹ presentó asociación con la concentración de magnesio foliar, favoreciendo una acumulación de este nutriente en el tiempo. El tratamiento con nanofertilizante de calcio/magnesio en dosis de 4 L ha⁻¹ aplicado al suelo fue significativo en el porcentaje de jugo del fruto de plantas de limón 'Eureka'.

Palabras clave: *Citrus limon*, nutrición foliar, nanomateriales.

ABSTRACT : Calcium and magnesium are essential elements in plant nutrition and there are currently fertilizers on the market made up of dolomite nanoparticles, which allow them to be incorporated into the soil or by foliar application. The objective of this work was to evaluate the incidence of calcium/magnesium nanofertilization on productivity, foliar nutrition and fruit quality of Eureka lemon. The following treatments were evaluated: 1: Control; 2: Nanoparticles Ca (9.8 %)-Mg (5.9 %) 2 L ha⁻¹ [foliar route]; 3: Nanoparticles Ca (9.8 %)-Mg (5.9 %) 4 L ha⁻¹ [foliar route]; 4: Nanoparticles Ca (9.8 %)-Mg (5.9 %) 2 L ha⁻¹ [applied to the soil]; 5 Nanoparticles Ca (9.8 %)-Mg (5.9 %) 4 L ha⁻¹ [applied to the soil]. It is in a Randomized Complete Block design with four replicates and four plants per replicate. Leaf samples were taken in March in two consecutive campaigns, determining concentrations of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium. At harvest, 40 fruits per experimental plot were selected, evaluating equatorial diameter, juice percentage, and production in kilograms per plant, content of total soluble solids, titratable acidity and maturity index. Calcium/magnesium nanofertilization applied via foliar 2 L ha⁻¹ and applied to soil 4 L ha⁻¹ were associated with foliar magnesium concentration, favoring an accumulation of this nutrient over time. The treatment with calcium/magnesium nanofertilizer in doses of 4 L ha⁻¹ applied to the soil was significant in the percentage of fruit juice of 'Eureka' lemon plants.

Key words: *Citrus limon*, foliar nutrition, nanomaterials.

*Autor para correspondencia: mariyfran077@hotmail.com

Recibido: 18/10/2022

Aceptado: 18/02/2023

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener conflicto de intereses

Contribución de los autores: **Conceptualización-** María de las Mercedes Yfran Elvira; Marco D. Chabbal Monzón. **Investigación-** María de las Mercedes Yfran Elvira; Marco D Chabbal Monzón; Analia B Píccoli Delbón; Laura I Giménez. **Metodología-** Laura I. Giménez. **Supervisión-** María de las Mercedes Yfran Elvira. **Escritura del borrador inicial, Escritura y edición final y Curación de datos-** María de las Mercedes Yfran Elvira.

Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



INTRODUCCIÓN

El uso de la nanotecnología en la agricultura afecta favorablemente la nutrición y protección de los cultivos. El calcio y magnesio son elementos esenciales en la nutrición vegetal (1) y están siendo incorporados al mercado fertilizantes en nanopartículas de Dolomita de alta pureza.

El calcio (Ca) forma parte importante de la constitución de la membrana de las células y se acumula entre la pared celular y la lámina media, donde interacciona con el ácido péctico para formar pectato de calcio, lo que confiere la estabilidad y mantiene la integridad de éstas (1-3). Este nutriente, actúa como agente cementante de las células, se encuentra estrechamente relacionado con la actividad meristemática, tiene influencia en la regulación de los sistemas enzimáticos, la actividad de fitohormonas y aumenta la resistencia de los tejidos a patógenos, incrementando la vida útil poscosecha y calidad nutricional (4). La sintomatología de la deficiencia se presenta en hojas sin alcanzar su tamaño final (estadio 1:15 según escala Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie ((BBCH) (5)), las plantas en general pierden vigor y los frutos presentan rajado de la corteza (splitting, en inglés) (1).

Un suministro constante de Ca absorbido por la raíz y transferido a la fruta es crucial para el desarrollo saludable de la misma. El transporte a larga distancia de Ca se realiza a través de vías de xilema/apoplasto desde la raíz hasta las partes superiores, y en el caso de la absorción de Ca por parte de la fruta, la expansión de la misma también es un determinante para el flujo de entrada de savia que entrega Ca a la fruta (2,3,5).

El magnesio (Mg) en las células vegetales cumple un rol específico como activador de enzimas incluidas en la respiración, fotosíntesis y síntesis de ADN y ARN. También, forma parte de la molécula de clorofila. Al Mg se le atribuye participación en el desarrollo de frutos, contribuyendo a la labor de la fructosa 1,6 difosfatasa, la cual regula la síntesis de almidón, factor que puede ser determinante en el nivel de azúcares y la calidad de los frutos. La carencia de este elemento mineral se manifiesta por un amarillamiento de la hoja, que no alcanza toda la superficie, quedando una V rellena de color verde, con su vértice apuntando hacia el ápice de la hoja. Dada la movilidad de este elemento en la planta, las hojas afectadas son las más viejas (1).

Los nanomateriales o nanopartículas (NPs), son materiales de dimensiones muy pequeñas (menor de 100 nanómetros) con orden de magnitud de 10^{-9} m. En este grupo de materiales se encuentran varias NPs (Zn, Fe, Ca, Mg, Cu, Ag, etc), teniendo muchas de ellas gran potencial en la agricultura sustentable y reduciendo el impacto ambiental (5,6).

Los nanofertilizantes abordan el tema de agricultura como una solución en cuanto a la absorción de macro y micro nutrientes en las plantas, aumentando así la producción agrícola; actuando como promotores de crecimiento al corregir deficiencias de microelementos (7-9). La deficiencia de nutrientes disminuye no solo la

productividad, crecimiento, desarrollo, rendimiento y calidad de los cultivos (10-12), sino también afecta la salud humana a través del consumo de alimentos con deficiencia de nutrientes (13-16). En este sentido, la utilización de micronutrientes nanoformulados para la liberación lenta o controlada de nutrientes estimularía el proceso de absorción por las plantas, promovería el crecimiento y la productividad de los cultivos y contribuiría también a mantener la salud del suelo (5, 17, 18).

En un estudio en invernadero exploraron el efecto de varias dosis de NPs de sulfato de potasio (K_2SO_4) sobre el crecimiento de alfalfa y la respuesta fisiológica bajo estrés salino. Se seleccionó un genotipo tolerante a la sal y un genotipo sensible a la sal en función de la germinación bajo sal y se plantaron en macetas que contenían 2 kg de arena. La mayor masa seca del brote, rendimiento relativo, longitud de la raíz y masa seca de la raíz en ambos genotipos se obtuvo al utilizar K_2SO_4 NPs al nivel de 1/8. Las diferentes dosis de K_2SO_4 NPs afectaron significativamente la relación Na/K y las concentraciones de Ca, P, Cu, Mn y Zn en el tejido vegetal. La aplicación de K_2SO_4 NPs a una tasa de 1/8 mejoró la respuesta fisiológica de la planta al estrés salino, ya que redujo la fuga de electrolitos, aumentó el contenido de catalasa y prolina y aumentó la actividad de las enzimas antioxidantes. Estos resultados sugieren que la aplicación de KNP puede tener una mejor eficiencia que los fertilizantes de K convencionales para proporcionar una nutrición adecuada de las plantas y superar los efectos negativos del estrés salino en la alfalfa (19).

Se compararon los efectos del carbonato de nano-calcio y carbonato de calcio coloidal y encontraron que los tratamientos de carbonato de nano-calcio eran mejor para aumentar el contenido de calcio cuando se rocía en hojas de Tankan (*Citrus tankan Hayata*) (20).

Por lo expuesto anteriormente, este trabajo tiene como objetivo evaluar el efecto de la aplicación foliar y en suelo de un nanofertilizante de calcio/magnesio sobre la productividad, el contenido de macronutrientes foliares y la calidad de la fruta de plantas de limón (*Citrus limon* L.), variedad 'Eureka'.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se llevó a cabo durante las campañas 2017-2018, 2018-2019, en la localidad de Santa Rosa, Corrientes, Argentina, en un lote comercial establecimiento Doña Sara, georreferenciado en $28^{\circ}14'26.0''S$ y $58^{\circ}08'40.6''W$.

El material experimental fue plantas de limón (*Citrus limon* L.) Burm var. 'Eureka' injertado sobre Lima Rangpur (*C. limonia*) Osbeck, combinación empleada comúnmente en la región. Se trabajó en un lote de ocho años de implantación, en suelo rojo amarillo podzólico, con una densidad de 285 plantas de limón ha^{-1} , en un marco de plantación de 7 metros entre líneas por 5 metros entre plantas.

El diseño experimental utilizado fue bloques completos al azar, con cuatro repeticiones y cuatro plantas por parcela, siendo las plantas útiles las dos centrales donde se realizaron las mediciones. Los tratamientos evaluados se describen en la [Tabla 1](#).

Los productos que se aplicaron fueron Dolomita CaMg (CO₃)₂ convencional en polvo y MIST-Ca/Mg[®] que es una fuente de nanopartículas de Dolomita de alta pureza, y se presenta en una emulsión floable. Contiene 9,80 % Ca y 5,90 % Mg.

En el tratamiento 1 (Testigo), se particionó en dos momentos el agregado de 2 kg planta⁻¹ de Dolomita convencional, 50 % en el mes de diciembre y 50 % en abril de cada año. Todas las plantas del ensayo fueron fertilizadas con un fertilizante compuesto 15-6-15-6, que aporta un 15 % (N)-6 % (P₂O₅)-15 % (K₂O)-6 % (MgO), cuya aplicación fue a razón de 2 kg por planta (50 % en septiembre y 50 % en marzo de cada año).

Variables analizadas

A fin de evaluar el estado nutricional de las plantas, se tomaron muestras de hojas de 7 meses de edad en ramas fructíferas, provenientes de la brotación de primavera (marzo), en cada una de las plantas evaluadas para cada tratamiento en dos campañas consecutivas. Las mismas fueron desecadas en estufa a 60 - 65 °C hasta masa constante, molidas en molinillo tipo Willey de malla 20. Se determinaron las concentraciones de nitrógeno (N) por el método de Kjeldhal; fósforo (P) por el método Murphy-Riley, potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) por espectrometría de absorción atómica ([22](#)).

El rendimiento, en kilos de frutas por planta, se avaluó sobre la totalidad de plantas útiles de cada parcela.

En el momento de la cosecha se tomaron 40 frutos al azar por parcela experimental para determinar los caracteres de calidad de los frutos, representados en las siguientes variables: diámetro ecuatorial (DE) en milímetros mediante calibre digital, porcentaje de jugo (PJ) = masa del jugo/masa de los frutos x 100, producción en kilogramos por planta (kg planta⁻¹) (P), contenido de sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (A) e índice de madurez (IM) = SST/A.

Las precipitaciones en mm de lluvia caída durante el tiempo de experimentación se presentan en la [Tabla 2](#).

Análisis estadístico

Para evaluar diferencias entre los tratamientos se realizaron análisis de la varianza (ANOVA) para el diseño correspondiente, incorporando el efecto año como un factor en el modelo estadístico y la prueba de comparación de medias de Duncan ($\alpha \leq 0,05$). Previo al ANOVA, los datos fueron sometidos a las pruebas de normalidad, con el estadístico Shapiro-Wilks modificado ($\alpha \leq 0,05$).

Luego se realizó un análisis de componentes principales (ACP), para evaluar el efecto del tratamiento sobre todas las variables evaluadas. Con las componentes principales se realizaron gráficos Biplot a modo de interpretar e identificar asociaciones entre observaciones (tratamientos) y variables en un mismo espacio. Todos los análisis se realizaron utilizando el software Infostat ([21](#)).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En general, en el primer año de estudio los niveles foliares de N se encontraron entre valores deficientes (<2,30 %) y sin diferencias significativas, el P entre niveles

Tabla 1. Tratamientos, forma de aplicación (suelo y foliar), dosis anual (2 y 4 litros por hectárea) y momentos de aplicación (diciembre, abril y marzo)

Tratamientos	Forma de aplicación	Dosis anual	Momentos de aplicación
1	Suelo	2 Kg de CaMg(CO ₃) ₂ planta ⁻¹	50 % Diciembre y 50 % Abril
2	Foliar	2 L ha ⁻¹	50 % Diciembre y 50 % Abril
3	Foliar	4 L ha ⁻¹	50 % Diciembre y 50 % Abril
4	Suelo	2 L ha ⁻¹	50 % Diciembre y 50 % Abril
5	Suelo	4 L ha ⁻¹	50 % Diciembre y 50 % Abril

Los tratamientos 2, 3, 4 y 5 tienen aplicación de MIST-Ca/Mg[®]

Tabla 2. Cantidad de precipitaciones registradas en milímetros (mm) por campaña y por mes

Mes	Campaña 2017-2018	Campaña 2018-2019
Agosto	68,0	68,0
Setiembre	96,0	91,0
Octubre	93,0	53,0
Noviembre	96,0	450,0
Diciembre	56,0	350,0
Enero	200,0	336,0
Febrero	90,0	76,0
Marzo	172,0	171,0
Abril	80,0	228
Mayo	50,0	165

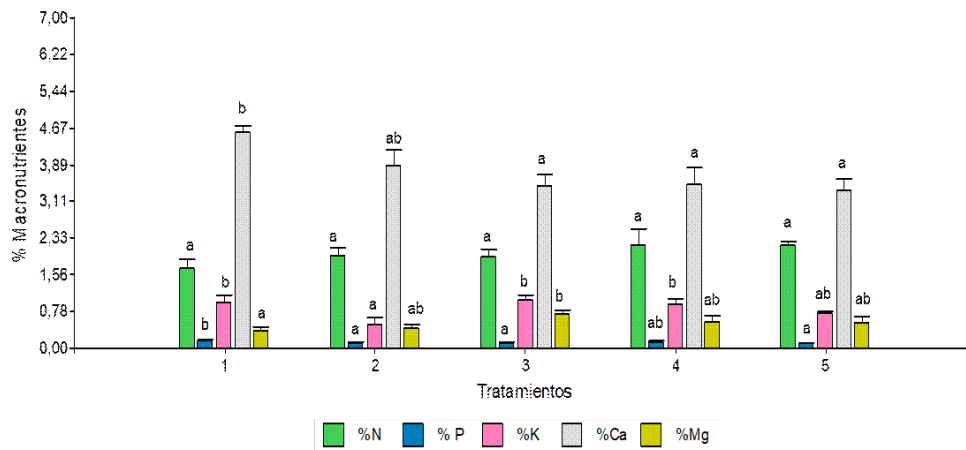
bajos (0,10-0,12 %) los tratamientos 2, 3 y 5, con niveles óptimos el tratamiento 4 (0,13-0,15 %) y diferenciándose significativamente del resto de los tratamientos con valores altos (0,17-0,20 %) el tratamiento testigo. Los contenidos de K fueron óptimos para todos los tratamientos (0,71-1 %), excepto el tratamiento 2 que presentó valores significativamente bajos de K (0,50-0,70 %). Mientras que el Ca estuvo entre valores óptimos (3-5 %) en todos los tratamientos y Mg entre rangos óptimos (0,25-0,45 %) a altos (0,46-0,90 %), siendo el tratamiento 3 el que presentó niveles significativamente mayores de Mg respecto del testigo (Figura 1).

En el segundo año de estudio los contenidos de N fueron bajos (2,3-2,5 %) en los tratamientos 3 y 4, óptimos (2,51-2,80 %) en el tratamiento 2 y en exceso (>3 %) en los tratamientos 1 y 5. Solo se ve diferencia significativa entre

el tratamiento 4 y 5. Los niveles de P se encontraron entre valores bajos (0,10-0,12 %) a óptimos (0,13-0,16 %), el K entre niveles óptimos (0,71-1 %) a altos (>1,30 %) y el Ca en niveles altos (5,10-6,50 %) sin diferencias significativas entre tratamientos, mientras que el Mg presentó valores altos (0,46-9 %), diferenciándose el tratamiento 1 del 2 y 5 (Figura 2).

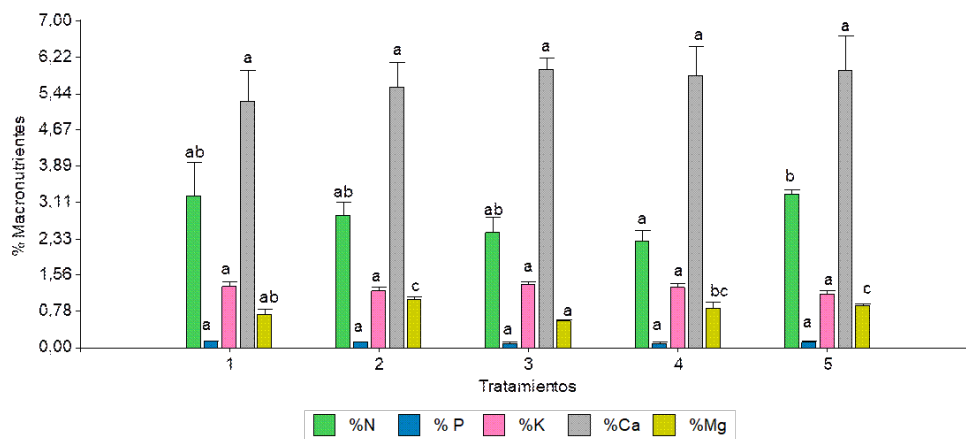
La asociación del tratamiento 2 [Ca (9,8 %)-Mg (5,9 %) 2 L ha⁻¹ [vía foliar]] y 5 [Ca (9,8 %)-Mg (5,9 %) 4 L ha⁻¹ [aplicado al suelo]] y el contenido de Mg en planta se confirmó al corroborar que en estos tratamientos se observó un incremento significativo de este nutriente.

En la Figura 3 se muestra la representación gráfica del Análisis Componentes Principales (ACP) de las variables de calidad de los frutos. Se observan las componentes principales CP1 y CP2, que explican el 87,2 % de la



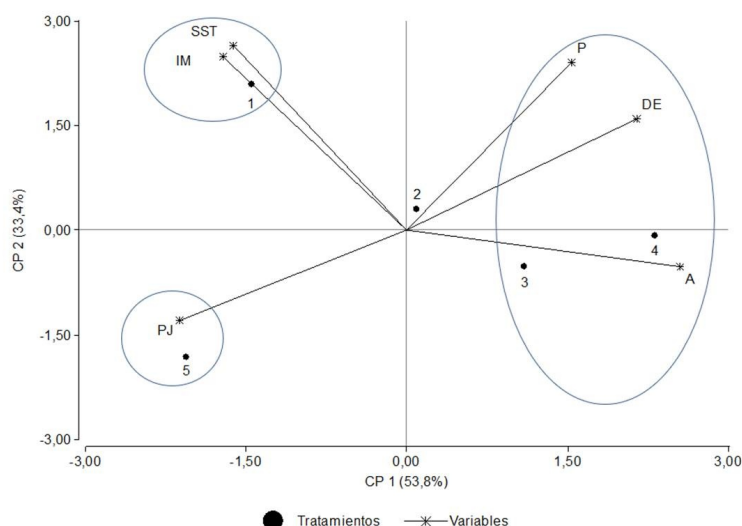
Tratamientos: 1 Testigo; 2 Nano partículas Ca (9,8 %)-Mg (5,9 %) 2 L ha⁻¹ [vía foliar]; 3 Nano partículas Ca (9,8 %)-Mg (5,9 %) 4 L ha⁻¹ [vía foliar]; 4 Nano partículas Ca (9,8 %)-Mg (5,9 %) 2 L ha⁻¹ [aplicado al suelo]; 5 Nano partículas Ca (9,8 %)-Mg (5,9 %) 4 L ha⁻¹ [aplicado al suelo]. *Letras distintas indican diferencias significativas (p≤0,05). Test de Duncan (p≤0,05)

Figura 1. Concentraciones foliares de macronutrientes y error estándar en función de los tratamientos de fertilización en árboles de Limón 'Eureka', en Santa Rosa, Corrientes, Argentina, en el primer año de estudio



Tratamientos: 1 Testigo; 2 Nano partículas Ca (9,8%)-Mg (5,9%) 2 L ha⁻¹ [vía foliar]; 3 Nano partículas Ca (9,8%)-Mg (5,9%) 4 L ha⁻¹ [vía foliar]; 4 Nano partículas Ca (9,8%)-Mg (5,9%) 2 L ha⁻¹ [aplicado al suelo]; 5 Nano partículas Ca (9,8%)-Mg (5,9%) 4 L ha⁻¹ [aplicado al suelo]. *Letras distintas indican diferencias significativas (p≤0,05). Test de Duncan (p≤0,05)

Figura 2. Concentraciones foliares de macronutrientes y error estándar en función de los tratamientos de fertilización en árboles de Limón 'Eureka', en Santa Rosa, Corrientes, Argentina, en el segundo año de estudio



Diámetro ecuatorial (DE), porcentaje de jugo (PJ), producción en kilogramos por planta (kg planta^{-1}) (P), contenido de sólidos solubles (SS), acidez (A) e índice de madurez (IM) en frutos de Limón 'Eureka' para los cinco tratamientos probados en las campañas evaluadas
Figura 3. Biplot resultante del Análisis de Componentes Principales (ACP) de las variables

variabilidad total. Los tratamientos 3 y 4, con aporte de 4 L ha^{-1} de nano partículas de Ca y Mg aplicado vía foliar, y con aporte de nano partículas de Ca y Mg en dosis de 2 L ha^{-1} aplicado al suelo respectivamente, presentaron mayor asociación con las variables de producción, diámetro ecuatorial y acidez del fruto; el testigo se asoció a las variables SST e IM; el tratamiento 5, con aporte de nano partículas de Ca y Mg en dosis de 4 L ha^{-1} aplicado al suelo se asoció al porcentaje de jugo; mientras que el tratamiento 2 con aporte de nano partículas de Ca y Mg 2 L ha^{-1} vía foliar no se asoció a ninguna variable. Cabe aclarar que las variables producción en kg planta^{-1} (P), sólidos solubles totales (SST) en grados Brix, acidez titulable en % (A) e índice de madurez (IM) no se diferenciaron significativamente entre tratamientos (Tabla 3).

La asociación del tratamiento 5 y el porcentaje de jugo se confirmaron al corroborar que en este tratamiento se observó un incremento significativo de esta variable respecto del tratamiento 4, a pesar de presentar los valores estadísticamente menores de diámetro ecuatorial del fruto (Tabla 3). El tratamiento 5 también presentó asociación con altos niveles de Mg foliar, nutriente que se le atribuye participación en el desarrollo de frutos, contribuyendo a la labor de la fructosa 1,6 difosfatasa, la cual regula la síntesis de almidón, factor que puede ser determinante en el nivel de azúcares y la calidad de los frutos (1).

El suministro constante de Ca y Mg nano particulado, que son absorbidos por la raíz en las aplicaciones al suelo y por las aperturas estomáticas en las aplicaciones foliares, se pueden luego transportar a diversos sitios de la planta por las rutas del xilema y el floema, (5) hecho que se corrobora con los resultados del segundo año de estudio, donde se manifiestan altas concentraciones de estos elementos en todos los tratamientos.

El transporte a larga distancia del Ca se realiza a través de vías de xilema/apoplasto desde la raíz hasta las partes superiores, y por parte de la fruta, la expansión de la misma también es un determinante para el flujo de entrada de savia que entrega Ca a la fruta (2,3), que es crucial para el desarrollo saludable de la misma.

Estudios indican que el contenido de Ca y tamaño de los frutos fue el más alto en *Citrus reticulata* cv. Shatangju y cv. Mashuiju, y los valores más bajos en las uvas *Vitis vinifera* cv. Summer black y cv. Shine Muscat. En cuanto al valor nutricional de Ca de las frutas de mesa, la concentración de Ca en la pulpa es más importante que el contenido de Ca en la fruta entera, que contiene tejidos no comestibles como piedras y piel coriácea. El níspero y los cítricos presentaron el mayor contenido de Ca en la carne y puede ser una buena fuente de nutrición cálcica (24).

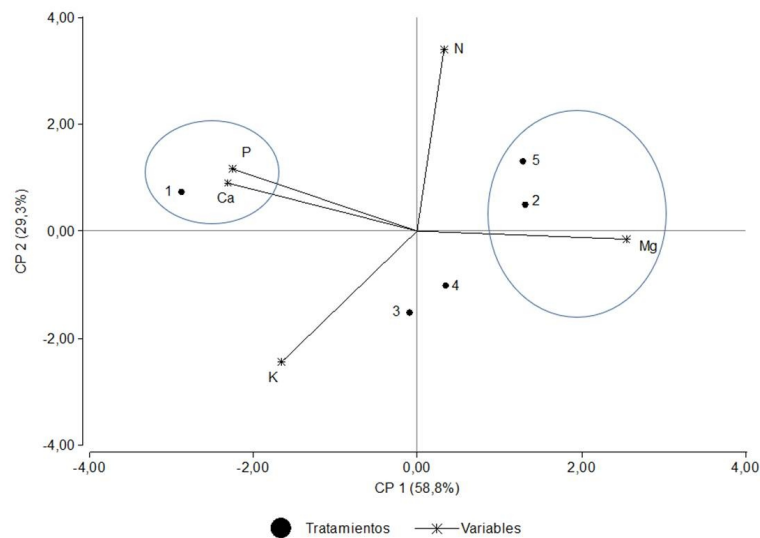
El Análisis de Componentes Principales (ACP) y Biplot de las variables nutricionales analizadas y la fertilización con nano partículas de Dolomita explicaron en dos componentes el 88,1 % de la asociación entre las variables. Las componentes principales 1 y 2 (CP 1, CP 2) representan el 58,8 % y el 29,3 % respectivamente, de la variación total (Figura 4).

Los tratamientos 2 [Ca (9,8%)-Mg (5,9%) 2 L ha^{-1} [vía foliar]] y 5 [Ca (9,8%)-Mg (5,9%) 4 L ha^{-1} [aplicado al suelo]], presentaron mayor asociación con la concentración de magnesio foliar, favoreciendo una acumulación de este nutriente en el tiempo, presentando valores óptimos(23), en el primer año de estudio (0,43 y 0,45 % de Mg respectivamente) a valores en exceso (>0,90 %) y altos (0,46 - 0,90 %) en el segundo año (Figura 1 y 2). El tratamiento 1 (testigo) se asoció al contenido de Ca y P, mientras que los tratamientos 3 y 4 no se asociaron a ninguna variable.

Tabla 3. Valores de medias ± el error estándar por tratamiento de las variables de calidad: Producción en Kg planta⁻¹ (P), diámetro ecuatorial (DE) en milímetros (mm), porcentaje de jugo (PJ), sólidos solubles totales (SST) en grados Brix, Acidez titulable en % (A) e índice de madurez (IM)

Tratamiento	P	DE	PJ	SST	A	IM
1	1405, 75a	65,80 b	41,85ab	7, 55a	5, 60a	1, 35a
2	1320, 83a	63,60ab	39,45ab	7, 55a	5, 75a	1, 32a
3	1394,00a	64,73 b	41,90ab	7, 50a	5, 78a	1, 30a
4	1398,00a	66,10 b	36, 56a	7, 35a	5, 82a	1, 26a
5	1225, 53a	60a	43,42 b	7, 50a	5, 63a	1, 33a
EE	55,95	1,47	1,92	0,18	0,12	0,04

Tratamientos: 1 Testigo; 2 Nano partículas Ca (9,8%)-Mg (5,9%) 2 L ha⁻¹ [vía foliar]; 3 Nano partículas Ca (9,8%)-Mg (5,9%) 4 L ha⁻¹ [vía foliar]; 4 Nano partículas Ca (9,8%)-Mg (5,9%) 2 L ha⁻¹ [aplicado al suelo]; 5 Nano partículas Ca (9,8%)-Mg (5,9%) 4 L ha⁻¹ [aplicado al suelo]. *Letras distintas indican diferencias significativas. Test de Duncan (p≤0,05)



Tratamientos: 1 Testigo; 2 Nano partículas Ca (9,8%)-Mg (5,9%) 2 L ha⁻¹ [vía foliar]; 3 Nano partículas Ca (9,8%)-Mg (5,9%) 4 L ha⁻¹ [vía foliar]; 4 Nano partículas Ca (9,8%)-Mg (5,9%) 2 L ha⁻¹ [aplicado al suelo]; 5 Nano partículas Ca (9,8%)-Mg (5,9%) 4 L ha⁻¹ [aplicado al suelo]

Figura 4. Biplot resultante del Análisis Componentes Principales (ACP) de las variables nutricionales (macronutrientes) en Limón 'Eureka' en los cinco tratamientos probados

CONCLUSIONES

El aporte de nanofertilizante de calcio y magnesio aplicado vía foliar con dosis de 2 L ha⁻¹ y aplicado al suelo con dosis de 4 L ha⁻¹ presentaron mayor asociación con la concentración de magnesio foliar, favoreciendo una acumulación de este nutriente en el tiempo, con valores óptimos en el primer año de estudio a valores en exceso y altos en el segundo año. También, se encontró asociación del tratamiento con aporte de nanofertilizante de Ca y Mg en dosis de 4 L ha⁻¹ aplicado al suelo y el porcentaje de jugo de la fruta. Esto pone de manifiesto que el incremento de magnesio foliar tuvo efecto sobre, al menos, un parámetro de la calidad de la fruta en plantas de limón 'Eureka'.

BIBLIOGRAFÍA

1. Agustín Fonfria M. Citricultura [Internet]. 2da ed. Madrid, España: Mundi Prensa; 2010 [citado 13 de mayo de

2024]. 422 p. Disponible en: https://www.margenlibros.com/libro/citricultura-2-ed-_241238

2. Song WP, Chen W, Yi JW, Wang HC, Huang XM. Ca Distribution Pattern in Litchi Fruit and Pedicel and Impact of Ca Channel Inhibitor, La3+. Front Plant Sci [Internet]. 9 de enero de 2018 [citado 13 de mayo de 2024];8:2228. Available in: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5767242/>

3. Bonomelli C, Fernández V, Martiz J, Videla X, Arias MI, Rojas-Silva X, et al. Absorption and distribution of root, fruit, and foliar-applied 45Ca in «Clemenules» mandarin trees. J Sci Food Agric [Internet]. Septiembre de 2020;100(12):4643-50. Available in: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32399984/>

4. Rincón Pérez A, Martínez Quintero E. Funciones del calcio en la calidad pos-cosecha de frutas y hortalizas: una revisión. Alimentos hoy [Internet]. 2015;23(34):13-25. Available in: <https://alimentos hoy.acta.org.co/index.php/hoy/article/view/301>

5. Lira Saldivar RH, Méndez Argüello B, Santos Villarreal GD los, Vera Reyes I, Lira Saldivar RH, Méndez Argüello B, *et al.* Potencial de la nanotecnología en la agricultura. *Acta Univ* [Internet]. Abril de 2018 [citado 13 de mayo de 2024];28(2):9-24. Available in: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0188-6266201800020009&lng=es&nrm=iso&tlng=es
6. Zambon AA, Cordoba M, Lombardi Ol. ¿Nanomateriales o nanopartículas? Desafíos de la ontología del dominio nano. 15 de febrero de 2019 [citado 13 de mayo de 2024]; Available in: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/121838>
7. Ali S, Rizwan M, Noureen S, Anwar S, Ali B, Naveed M, *et al.* Combined use of biochar and zinc oxide nanoparticle foliar spray improved the plant growth and decreased the cadmium accumulation in rice (*Oryza sativa* L.) plant. *Environ Sci Pollut Res Int* [Internet]. Abril de 2019;26(11):11288-99. Available in: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30793248/>
8. Asl KR, Hosseini B, Sharafi A, Palazon J. Influence of nano-zinc oxide on tropane alkaloid production, h6h gene transcription and antioxidant enzyme activity in *Hyoscyamus reticulatus* L. hairy roots. *Eng Life Sci* [Internet]. 12 de noviembre de 2018 [citado 13 de mayo de 2024];19(1):73-89. Available in: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6999414/>
9. Taherian M, Bostani A, Omidi H. Boron and pigment content in alfalfa affected by nano fertilization under calcareous conditions. *J Trace Elem Med Biol Organ Soc Miner Trace Elem GMS* [Internet]. mayo de 2019; 53:136-43. Available in: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30910197/>
10. García-Gallegos E, Vázquez O, Chávez-Gómez A, Acosta E, López-López A. Relación entre parámetros edáficos y criterios de calidad postcosecha de frutos de *Prunus persica* (L.) Batsch por análisis multivariado. *Sci Agropecu* [Internet]. 30 de noviembre de 2020;11:565-73. Available in: https://www.researchgate.net/publication/346474352_Relacion_entre_parametros_edaficos_y_criterios_de_calidad_postcosecha_de_frutos_de_Prunus_persica_L_Batsch_por_analisis_multivariado_Relationship_between_edaphic_parameters_and_postharvest_quality_criteria
11. Fan Z, Xiong H, Luo Y, Wang Y, Zhao H, Li W, *et al.* Fruit Yields Depend on Biomass and Nutrient Accumulations in New Shoots of Citrus Trees. *Agronomy* [Internet]. 17 de diciembre de 2020;10:1988. Available in: https://www.researchgate.net/publication/347682005_Fruit_Yields_Depend_on_Biomass_and_Nutrient_Accumulations_in_New_Shoots_of_Citrus_Trees
12. Zhou Y, He W, Zheng W, Tan Q, Xie Z, Zheng C, *et al.* Fruit sugar and organic acid were significantly related to fruit Mg of six citrus cultivars. *Food Chem* [Internet]. 1 de septiembre de 2018;259:278-85. Available in: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29680055/>
13. Díaz Acosta EM. Nanopartículas de plata: síntesis y funcionalización. Una breve revisión. *Mundo Nano Rev Interdiscip En Nanociencias Nanotecnología* [Internet]. junio de 2019 [citado 13 de mayo de 2024];12(22):0-0. Available in: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2448-56912019000100006&lng=es&nrm=iso&tlng=es
14. Rosa ED la, Ramírez G, Panikar S, Camacho T, Salas P, López-Luke T, *et al.* Algunas aplicaciones de la nanofotónica en la biomedicina. *Mundo Nano Rev Interdiscip En Nanociencias Nanotecnología* [Internet]. Junio de 2020 [citado 13 de mayo de 2024];13(24). Available in: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2448-56912020000100101&lng=es&nrm=iso&tlng=es
15. Bellacomo C, Berriolo MJ, Caracotche M, Castagnino A, Cendón M, Diaz K, *et al.* Panorama of intensive plant production of healthy foods - «Proalim Km 0», in times of pandemic by Covid-19 -Part 2 Preferences of the production, agribusiness, commercialization and consumption of diversity of vegetables. *Hortic Argent* 39 [Internet]. 21 de diciembre de 2020; Available in: https://www.researchgate.net/publication/357635179_Panorama_of_intensive_plant_production_of_healthy_foods_-_Proalim_Km_0_in_times_of_pandemic_by_Covid-19-Part_2_Preferences_of_the_production_agribusiness_commercialization_and_consumption_of_diversity_of_vegetables
16. Monreal CM, De Rosa M, Mallubhotla SC, Bindraban PS, Dimkpa C. Nanotechnologies for increasing the crop use efficiency of fertilizer-micronutrients. *Biol Fertil Soils* [Internet]. 1 de abril de 2016 [citado 13 de mayo de 2024];52(3):423-37. Available in: <https://doi.org/10.1007/s00374-015-1073-5>
17. Ramos-Ulate CM, Pérez-Álvarez S, Guerrero-Morales S, Palacios-Monarez A. Biofertilización y nanotecnología en la alfalfa (*Medicago sativa* L.) como alternativas para un cultivo sustentable. *Cultivos Tropicales* [Internet]. 23 de junio de 2021 [citado 13 de mayo de 2024];42(2):e10-e10. Available in: <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1594>
18. Valdez-López LL, Duque-Mariño MM, Jiménez-Jiménez WJ. La Nanoquímica, una disciplina en continuo progreso. *Polo Conoc* [Internet]. 1 de octubre de 2020 [citado 13 de mayo de 2024];5(10):215-26. Available in: <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/1800>
19. El-Sharkawy M, Elbashbeshe T, Rezk E, El-Kader NK, Al-Shal R, Missaoui A. Response of Alfalfa under salt stress to the application of potassium sulfate nanoparticles. *Am J Plant Sci* [Internet]. 1 de enero de 2017;08:1751-73. Available in: https://www.researchgate.net/publication/318073922_Response_of_Alfalfa_under_Salt_Stress_to_the_Application_of_Potassium_Sulfate_Nanoparticles
20. Hua KH, Wang HC, Chung RS, Hsu JC. Calcium carbonate nanoparticles can enhance plant nutrition and insect pest tolerance. *J Pestic Sci* [Internet]. 1 de diciembre de 2015;40:1-6. Available in: https://www.researchgate.net/publication/287912225_Calcium_carbonate_nanoparticles_can_enhance_plant_nutrition_and_insect_pest_tolerance
21. Kalra Y. *Handbook of Reference Methods for Plant Analysis* [Internet]. CRC Press; 1997. 326 p. Available in: <https://books.google.co.ve/books?id=wLggXPmhY18C&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

22. Infostat - Software estadístico [Internet]. [citado 13 de mayo de 2024]. Available in: <https://www.infostat.com.ar/>
23. Song W, Yi J, Kurniadinata OF, Wang H, Huang X. Linking Fruit Ca Uptake Capacity to Fruit Growth and Pedicel Anatomy, a Cross-Species Study. *Front Plant Sci* [Internet]. 2018;9:575. Available in: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29868049/>
24. Legaz F. Análisis de hojas, suelos y aguas para el diagnóstico nutricional de plantaciones de cítricos: procedimiento de toma de muestras [Internet]. Conselleria d'Agricultura, Pesca i Alimentació; 1995. 27 p. Available in: https://books.google.com.cu/books/about/An%C3%A1lisis_de_hojas_suelos_y_aguas_para_e.html?id=6-aBXwAACAAJ&redir_esc=y