

Efecto de aplicaciones foliares de magnesio y hierro sobre la productividad de lima ácida (*Citrus aurantifolia* Swingle)

Effect of foliar applications of magnesium and iron on the productivity of acid lime (Citrus aurantifolia Swingle)

Ricardo Peña-Castillo*, Melanio Murillo¹, Miguel Galecio-Julca¹, Mariano Calero Merino¹, Roger Chanduvi-García¹, Javier Javier-Alva¹, L.A. Álvarez², Marcos Victoriano Quiroz Calderón¹, Carlos Granda-Wong¹, and Arturo Morales-Pizarro¹

RESUMEN

La lima ácida (*Citrus aurantifolia*) conocido en Perú como limón sutil, es un cultivo de mayor importancia en las agro-exportaciones del País, cultivándose en suelos pobres. El objetivo fue evaluar la influencia de las aplicaciones foliares de magnesio y hierro en la productividad y calidad de la lima ácida. Se estudiaron los tratamientos: T1 (testigo), T2 (MgO 34%-500 mL 200 L⁻¹), T3 (MgO 34%-600 mL 200 L⁻¹), T4 (Fe EDHA 6%-800 g 200 L⁻¹), T5 (MgO 34%-500 mL 200 L⁻¹ + Fe EDHA 6%-800 g 200 L⁻¹), T6 (MgO 34%-600 mL 200 L⁻¹ + Fe EDHA 6%-800 g 200 L⁻¹), T7 (Fe EDHA 6%-1,12 kg 200 L⁻¹), T8 (MgO 34%-500 mL 200 L⁻¹+ Fe EDHA 6%-1,12 kg 200 L⁻¹), T9 (MgO 34%-600 mL 200 L⁻¹+ Fe EDHA 6%-1,12 kg 200 L⁻¹). Las variables evaluadas fueron; calidad extra (Cal. Ext.), calidad primera (Cal. Prim.), calidad segunda (Cal. Seg.), calidad fabrica (Cal. Fabr.), rendimiento por hectárea (Rdto. Ha), Volumen zumo (Vol. Zumo), sólidos solubles totales (SST), diámetro ecuatorial (DEF) y diámetro polar del fruto (DPF), y la relación DEF/DPF. Se realizó: "ANOVA", "análisis de correlación" y el análisis de componentes principales (ACP). En el ACP se obtuvieron dos componentes (C); C1 (45,40%) y C2 (21,70%) que explican el 67,10% -variabilidad del estudio. Las variables comerciales se agruparon en tres grupos, G-I: primera calidad; G-II: segunda calidad (Cal. Sec.), DPF, DEF, Vol. Jugo y SST; G-III: Cal. Ex. y Rdto. Ha. T9 mejoró las variables estudiadas disminuyendo Cal. Sec., mejorando las calidades más demandadas (Extra y prim.) y B/C 4.70.

Palabras clave: calidad; cítrico; rendimiento; volumen de jugo.

ABSTRACT

Key lime (Citrus aurantifolia), also called "limón sutil" in Peru, is a crop of major importance in the agro-exports of the country, cultivated mostly in the north, with medium to low technology in poor soils. The objective was to evaluate the influence of foliar applications of magnesium and iron on lemon productivity and quality. The treatments studied were: T1 (control), T2 (MgO 34%-500 mL 200 L⁻¹), T3 (MgO 34%-600 mL 200 L⁻¹), T4 (Fe EDHA 6%-800 g 200 L⁻¹), T5 (MgO 34%-500 mL 200 L⁻¹ + Fe EDHA 6%-800 g 200 L⁻¹), T6 (MgO 34%-600 mL 200 L⁻¹ + Fe EDHA 6%-800 g 200 L⁻¹), T7 (Fe EDHA 6%-1.12 kg 200 L⁻¹), T8 (MgO 34%-500 mL 200 L⁻¹ + Fe EDHA 6%-1.12 kg 200 L⁻¹), T9 (MgO 34%-600 mL 200 L⁻¹ + Fe EDHA 6%-1.12 kg 200 L⁻¹). The variables evaluated were: extra quality (Cal. Ext.), first quality (Cal. Prim.), second quality (Cal. Seg.), factory quality (Cal. Fabric.), yield per hectare (Rdto. Ha), juice volume (Vol. Juice), total soluble solids (SST), equatorial diameter (DEF) and polar

¹ Universidad Nacional de Piura, Campus Universitario s/n. Urb. Miraflores. Piura, Perú.

² Universidad Nacional de Cañete, Casa de la cultura, Av. Mariscal Benavides, San Luis de Cañete. Lima, Perú.

Ricardo Peña-Castillo: <https://orcid.org/0000-0001-9366-4962>

Melanio Murillo Huamán: <https://orcid.org/0000-0001-7877-3458>

Miguel Galecio-Julca: <https://orcid.org/0000-0001-8410-6205>

Mariano Calero Merino: <https://orcid.org/0000-0002-7354-4813>

Roger Chanduvi-García: <https://orcid.org/0000-0002-6061-3007>

Javier Javier-Alva: <https://orcid.org/0000-0002-4953-8165>

Luis Álvarez-Bernaola: <https://orcid.org/0000-0002-6174-9870>

Marcos Victoriano Quiroz Calderón: <https://orcid.org/0000-0001-8543-8236>

Carlos Granda-Wong: <https://orcid.org/0000-0002-1513-9094>

Arturo Morales-Pizarro: <https://orcid.org/0000-0003-3966-6689>

* Autor para correspondencia: rpenac@unp.edu.pe

fruit diameter (DPF), and the DEF/DPF ratio. The following tests “ANOVA”, “correlation analysis” and principal component analysis (PCA) were performed. In the PCA, two components (C) were obtained; C1 (45.40%) and C2 (21.70%) which explain 67.10% -variability of the study. The commercial variables were grouped into three groups, G-I: first quality; G-II: second quality (Cal. Sec.), DPF, DEF, Vol. Juice and SST; G-III: Cal. Ex. and Rdto. Ha. T9 improved the variables studied by decreasing Cal. Sec., improving the most demanded qualities (Extra and prim) and B/C 4.70.

Keywords: quality; citrus; yield; juice volume.

Introducción

Los cítricos presentan una gran demanda en el mundo como resultado de su uso: nutricional (alto contenido de antioxidantes, minerales, vitaminas A y C), estético, ecológico y comercial (Nandita *et al.*, 2020). Los principales productores son: India con 3,7 Millones de toneladas (Mt), México (2,8 Mt), China (2,6 Mt) y Argentina (1,8 Mt) (FAO, 2020). En Perú, la lima ácida (*Citrus aurantifolia* Swingle) conocida comúnmente en el país como “limón sutil”, es la especie cítrica más usada en la gastronomía peruana, y uno de los agrios más importantes en las agroexportaciones del Perú, siendo también uno de los cultivos que más impacto socioeconómico presenta, ya que, es la principal fuente de ingreso económico de muchas familias de escasos recursos (Chanduví-García *et al.*, 2023). En el 2021, la producción nacional de “limón sutil” fue de 325 mil toneladas (mt), situando la región Piura como la principal zona productora con 52,2% de la producción nacional (170 Mt), seguido de Tumbes con 18,2% (59 Mt), Lambayeque con 14,4% (46 Mt), y Ucayali con 4,9% (16,0 Mt) (SIEA, 2022).

Según Vega y Narrea (2011), los suelos en la región Piura y en especial en los valles donde se desarrolla el cultivo de limón, son relativamente pobres en nutrientes y contenido de materia orgánica, pues son suelos aluviales (mayormente fluvisoles éutricos). Siendo, por lo general suelos salinos y arenosos que influyen en la disponibilidad de nutrientes y actividad microbiana, reduciendo de esta manera el rendimiento y calidad del cultivo. Sin embargo, las intensas prácticas agronómicas como el exceso de fertilización NPK, reducen la absorción de magnesio y hierro en el cultivo de “limón sutil” mostrando síntomas foliares característicos y repercutiendo en su rentabilidad. Actualmente, en esta región se desconoce el efecto de las aplicaciones foliares de magnesio y hierro solo o en conjunto en la producción y calidad del “limón sutil”. Las aplicaciones foliares, son una alternativa complementaria a la nutrición edáfica a base de fertilizantes convencionales; mejorando

la producción y calidad del fruto, y de esta manera satisfacer los altos estándares de los mercados internacionales (Mohammed *et al.*, 2018; Nandita *et al.*, 2020). La aplicación foliar de micronutrientes en cultivos de cítricos y otros frutales, han permitido obtener una mayor productividad y calidad de frutos, mediante una mejor floración, cuajado y crecimiento del fruto (Tagad *et al.*, 2018; Nandita *et al.*, 2020). Asimismo, la deficiencia de nutrientes como Mg y Fe es una característica común en los cítricos especialmente cuando estos se desarrollan en suelos calcáreos, con pH mediamente alcalino, precipitándolos en forma de óxidos e hidróxidos (Mohammaed *et al.*, 2018; Tagad *et al.*, 2018). El hierro (Fe) se encuentra en los cloroplastos y forma parte de la clorofila, interviniendo en muchos procesos metabólicos en la planta; así también, se encuentran en las enzimas de oxidación, como los citocromos (Mohammed *et al.*, 2018; Tagad *et al.*, 2018; Puente-Ramírez *et al.*, 2022). El Magnesio (Mg) participa en la formación y desarrollo de semillas y raíces (órganos sumideros) (Adnan *et al.*, 2020). Además, estimula la actividad enzimática, metabolismo de carbohidratos, transferencia de energía, síntesis de proteínas y las reacciones óxido-reducción en los tejidos frente al estrés hídrico (Adnan *et al.*, 2020). Ghayekhloo y Sedaghatoor (2015) observaron en aspersiones foliares con micronutrientes (hierro, manganeso, zinc), mejoró en frutos de naranja (*Citrus reticulada* L.); el peso, el contenido de azúcar, hierro y manganeso, y el contenido de materia seca. En la región Piura son escasas las investigaciones relacionadas con el uso de foliares de Mg y Fe aplicados solos o en conjunto a este cultivo. Por tanto, se planteó evaluar la influencia de las aplicaciones foliares de magnesio y hierro en la productividad y calidad de la lima ácida.

Materiales y métodos

Área de estudio experimental

El estudio se realizó durante la campaña 2016-2017, con plantas de limón sutil (*Citrus aurantifolia*

Swingle) de tamaño homogéneo, con tres años de edad en etapa de producción, ubicadas en el Valle de Cieneguillo Sur (Piura - Perú) en el sector la ATEA “Asociación de Técnicos Extensionistas Agropecuarios” con latitud norte 04°55’36’’ y longitud oeste 80°20’40’’ y 59 msnm. La mayor precipitación se presentó durante el mes de marzo con 500 mm, temperatura media 27,9 °C (Figura 1).

Análisis del suelo

El análisis de suelo se realizó en el laboratorio del Departamento Académico de Suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Piura (UNP) con los siguientes resultados: pH 7,26; textura arenosa, CaCO₃ 0,34%, materia orgánica 0,11%, nitrógeno 0,01%, fósforo 9 mg kg⁻¹, potasio 60 mg kg⁻¹, conductividad eléctrica (CE) de 0,38 dS m⁻¹.

Procedimiento del experimento en campo

Se realizaron aspersiones foliares de magnesio y hierro, 35 días después de la incorporación del abono orgánico (estiércol vacuno descompuesto) 12,5 t ha⁻¹. Posteriormente, se hicieron dos aplicaciones foliares adicionales cada 15 días, empleando los siguientes tratamientos: T1 (testigo), T2 (MgO 34%-500 mL 200 L⁻¹), T3 (MgO 34%-600 mL 200 L⁻¹), T4 (Fe EDHA 6%-800 g 200 L⁻¹), T5 (MgO 34%-500 mL 200 L⁻¹+ Fe EDHA 6%-800 g 200 L⁻¹), T6 (MgO 34%-600 mL 200 L⁻¹+ Fe EDHA 6%-800 g 200 L⁻¹), T7 (Fe EDHA 6%-1,12 kg

200 L⁻¹), T8 (MgO 34%-500 mL 200 L⁻¹+ Fe EDHA 6%-1,12 kg 200 L⁻¹), T9 (MgO 34%-600 mL 200 L⁻¹+ Fe EDHA 6%-1,12 kg 200 L⁻¹). Se evaluó el rendimiento por planta según la calidad de fruto (kg planta⁻¹), rendimiento por hectárea (kg ha⁻¹).

La calidad de frutos del “limón sutil” se clasificó según la Norma Técnica Peruana para el Limón “Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual” (INDECOPI, 2005) en Super extra (>44 mm de diámetro ecuatorial), extra (41–43,9 mm Ø), primera (38 a 40,9 mm Ø) y segunda (35 a 37,9 mm Ø).

Se extrajeron 5 frutos por planta y se determinó: el contenido de sólidos solubles totales (SST), diámetro ecuatorial del fruto (DEF), el diámetro polar del fruto (DPF), relación de DEF/DPF (<1 [fruto alargado] = 1 [fruto redondo o esférico], >1 [fruto aplanado]), pH y volumen del Zumo [Vol. zumo] (ml) (AOAC, 2006).

Análisis estadístico del estudio

Se utilizó un diseño experimental Bloques Completamente al Azar (BCA), estudiándose 9 tratamientos (8 tratamientos y un testigo) distribuidos en tres bloques con 4 plantas por unidad experimental (UE) con un total de 108 UE. Los datos fueron analizados con los softwares estadísticos: “IBM-SPSS Statistics (versión 25)” y “R-studio (versión 4.2.1)” para Windows-10. Asimismo, se determinó si estos cumplen “los criterios de pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk),

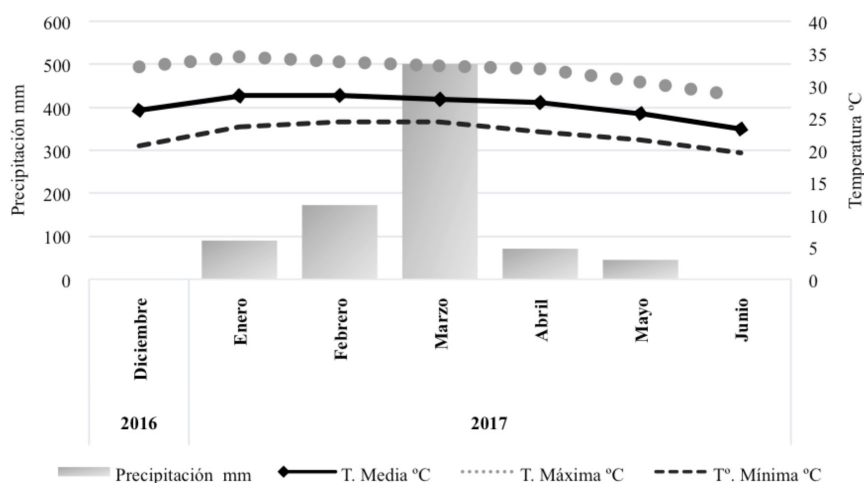


Figura 1. Datos meteorológicos.

homogeneidad de varianzas (levene) y correlación (Pearson)”.

Además, se realizó un “Análisis de Componentes Principales” (ACP) con las medias de los diversos tratamientos (Reyes-Pérez *et al.*, 2019) para determinar la relación variables-tratamientos. Se realizó un “análisis de varianza” (ANOVA), y “prueba de rangos múltiples de Duncan” con un nivel de significancia de $p\text{-value} < 0,05$.

Análisis económico

El análisis económico se realizó mediante el cálculo de la rentabilidad del cultivo propuesto por Samuelson y Nordhaus (2009) donde; $CT = Pa \times A$, dónde CT son los “costos totales” de la producción, Pa es el “precio unitario de la actividad y/o insumo”, y A es la actividad y/o insumo; $I = P \times Rk$, dónde I son los “ingresos totales”, P es el precio del producto, y Rk es el rendimiento del

cultivo; $B = I - CT$, donde B es el beneficio y/o utilidad. La rentabilidad fue calculada mediante la relación $\text{Beneficio/Costo} = \text{Ingresos totales/Costo total de la producción}$ ($B/C = I/CT$) (Díaz-Franco *et al.*, 2017)

Resultados y discusión

Análisis de correlación de la investigación

En la Figura 2, se presenta los resultados del análisis de correlación de Pearson de las 10 variables evaluadas en la investigación. La calidad extra (Cal. Ext) presentó una correlación fuerte y altamente significativa ($p \leq 0,001 = ***$) con Rdo. Ha ($r = 0,92$) y Vol. Zumo ($r = 0,60$); de manera similar, La calidad extra (Cal. Ext) presentó una correlación altamente significativa ($p \leq 0,01 = **$) con SST ($r = 0,59$) y DEF ($r = 0,52$). Lo que está demostrando que la calidad extra (Cal. Ext) crece

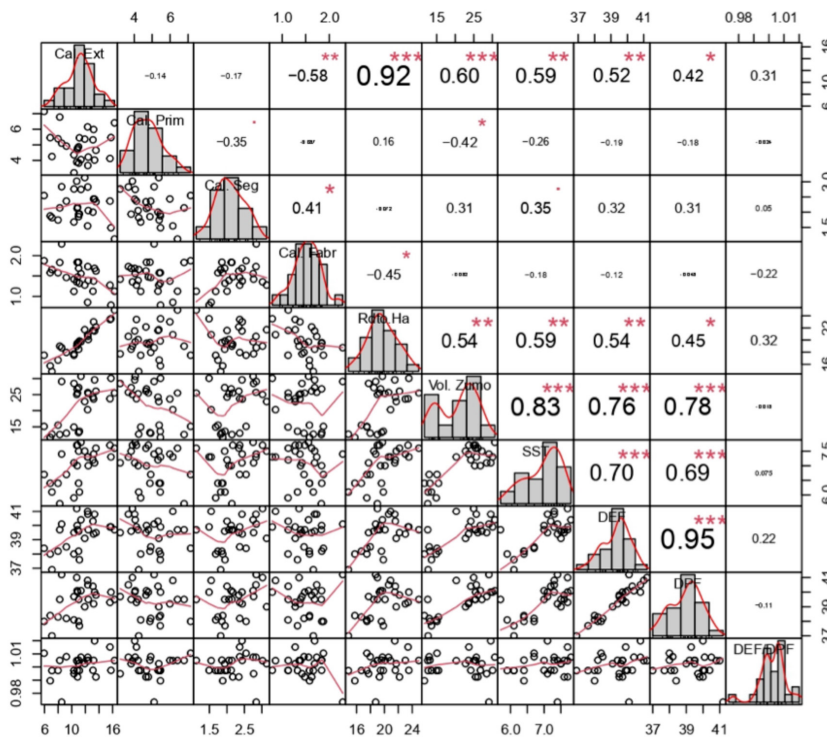


Figura 2. Análisis de correlación “Pearson” con las variables de estudio en el cultivo de limón sutil en Cieneguillo-Sur, Piura-Perú. Calidad extra (Cal. Ext.), calidad primera (Cal. Prim.), calidad segunda (Cal. Seg.), calidad fabrica (cal. Fabr.), rendimiento por hectárea (Rdo. Ha), Volumen zumo (Vol. Zumo), sólidos solubles totales (SST), diámetro ecuatorial del fruto (DEF), diámetro polar del fruto (DPF), relación (DEF/DPF). La correlación es significativa ($p \leq 0,05 = *$), la correlación es altamente significativa ($p \leq 0,01 = **$), la correlación es fuerte y altamente significativa ($p \leq 0,001 = ***$) y la correlación no es significativa ($p > 0,05 = ns.$).

directamente proporcional a estas variables. El rendimiento por hectárea (Rdto.Ha) presentó una correlación altamente significativa ($p \leq 0,01 = **$) con Vol. Zumo ($r = 0,54$), SST ($r = 0,59$) y DEF ($r = 0,54$); y una correlación significativa ($p \leq 0,05 = *$) con DPF ($r = 0,45$); indicando que un incremento en estas variables implica un incremento en el rendimiento por hectárea (Rdto.Ha). El volumen del zumo (Vol. Zmo) presentó una correlación fuerte y altamente significativa ($p \leq 0,001 = ***$) con SST ($r = 0,83$), DEF ($r = 0,76$) y DPF ($r = 0,78$). Sólidos solubles totales (SST) presentó una correlación fuerte y altamente significativa ($p \leq 0,001 = ***$) con DEF ($r = 0,70$) y DPF ($r = 0,69$) y finalmente, diámetro ecuatorial del fruto (DEF) presentó una correlación fuerte y altamente significativa ($p \leq 0,001 = ***$) con DPF ($r = 0,95$).

ACP “Análisis de Componentes Principales” de las variables comerciales

El ACP formó dos nuevas variables o componentes; componente 1 y componente 2 explicando el 45,40% y 21,70% de la variabilidad respectivamente, con 67,10% de la variabilidad del estudio (Figura 3). Según su grado relación entre las variables-tratamientos se formaron tres grupos (clúster). El primer grupo: calidad primera

(Cal. Prim.); el segundo grupo: calidad segunda (Cal. Seg.), Volumen zumo (Vol. Zumo), sólidos solubles totales (SST), diámetro ecuatorial del fruto (DEF), diámetro polar del fruto (DPF), y el tercer grupo: Calidad extra (Cal. Ext.), rendimiento por hectárea (Rdto. Ha).

Rendimiento del cultivo de “limón sutil”

En la Tabla 1, se presenta la “prueba de rangos múltiples de Duncan ($p < 0,05$) del grupo I, donde los tratamientos: T1, T2, T3, T7, T8 y T9, lograron una calidad primera (Cal. Prim.) significativamente superior a los demás tratamientos; destacándose los tratamientos T2 y T9 con $6,02 \pm 0,97$ y $6,01 \pm 0,49$ (kg planta⁻¹) respectivamente.

En el grupo II, los tratamientos: T2, T4, T5, T6, T7 y T8, lograron una calidad segunda (Cal. Seg) significativamente superior a los demás tratamientos, destacando el tratamiento T6, alcanzó el mayor valor con $2,76 \pm 0,30$ (kg planta⁻¹); no obstante, el T9 presentó el menor valor con $1,39 \pm 0,23$ (kg planta⁻¹) siendo importe la reducción de estas variables.

En el diámetro polar del fruto (DPF) los tratamientos: T5, T6, T8, y T9, superaron significativamente a los demás tratamientos, destacando el tratamiento T6 el cual alcanzo el

Tabla 1. Prueba de Duncan de las variables comerciales agrupados en Grupo 1 y 2.

Trat.	Grupo 1			Grupo 2		
	Calidad Primera kg planta ⁻¹	Calidad Segunda kg planta ⁻¹	Diámetro Polar-Fruto mm	Diámetro Ecuatorial-Fruto mm	Volumen Zumo mL	Sólidos Solubles Totales
T1	5,13 ± 1,43abc	1,88 ± 0,24cd	38,2 ± 1,25c	38,20 ± 1,41b	13,40 ± 1,305b	5,9 ± 0,2c
T2	6,02 ± 0,97a	2,13 ± 0,37abc	38,03 ± 0,35c	38,0 ± 0,40b	13,45 ± 1,70b	6,4 ± 0,3b
T3	5,06 ± 0,28abc	1,99 ± 0,33bcd	38,16 ± 0,15c	38,30 ± 0,17b	13,9 ± 0,139b	6,5 ± 0,17b
T4	3,75 ± 0,51c	2,25 ± 0,44abc	39,56 ± 0,11b	39,6 ± 0,10a	27,0 ± 0,16a	7,2 ± 0,26a
T5	4,18 ± 0,56bc	2,58 ± 0,36ab	40,2 ± 0,26ab	40,3 ± 0,55 a	27,3 ± 0,295a	7,6 ± 0,26a
T6	4,35 ± 0,66bc	2,76 ± 0,30a	40,73 ± 0,64a	40,7 ± 0,55 a	27,9 ± 2,52a	7,4 ± 0,30a
T7	5,35 ± 0,66ab	2,56 ± 0,52ab	39,43 ± 0,58b	39,5 ± 0,45a	24,4 ± 2,12a	7,3 ± 0,26a
T8	4,70 ± 0,60abc	2,24 ± 0,20abc	39,83 ± 0,55ab	39,9 ± 0,4a	24,67 ± 1,27a	7,5 ± 0,26a
T9	6,01 ± 0,49a	1,39 ± 0,23d	40,1 ± 0,65ab	40,2 ± 0,7a	25,3 ± 4,90 a	7,4 ± 0,17a

Tratamientos: T1 (testigo), T2 (MgO 34%-500 mL 200 L⁻¹), T3 (MgO 34%-600 mL 200 L⁻¹), T4 (Fe EDHA 6%-800 g 200 L⁻¹), T5 (MgO 34%-500 mL 200 L⁻¹+ Fe EDHA 6%-800 g 200 L⁻¹), T6 (MgO 34%-600 mL 200 L⁻¹+ Fe EDHA 6%-800 g 200 L⁻¹), T7 (Fe EDHA 6%-1,12 kg 200 L⁻¹), T8 (MgO 34%-500 mL 200 L⁻¹+ Fe EDHA 6%-1,12 kg 200 L⁻¹), T9 (MgO 34%-600 mL 200 L⁻¹+ Fe EDHA 6%-1,12 kg 200 L⁻¹). Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$), “pruebas de rangos múltiples de Duncan”.

mayor valor con $40,73 \pm 0,64$ mm siendo superior al testigo (T1) con $38,2 \pm 1,25$.

En el diámetro ecuatorial del fruto (DEF) los tratamientos T4, T5, T6, T7, T8 y T9 presentaron valores por encima de $39,6 \pm 0,10$ sin diferencias significativas. Asimismo, estos mismos tratamientos presentaron un incremento superior al 80% del volumen del zumo (Vol. Zumo) comparado con el testigo. Además, los tratamientos mencionados en los sólidos solubles totales mostraron valores superiores a $7,2 \pm 0,26$ sin diferencias significativas.

En la Tabla 2, se presenta la prueba de rangos múltiples de Duncan “($p < 0,05$) del grupo 3, donde agrupó las variables: calidad extra (Cal. Ext.) y rendimiento por hectárea (Rdto Ha.). El tratamiento T7, T8 y T9 presentaron valores significativamente superiores a los demás tratamientos, para la calidad extra (Cal. Ext.) con $11,98 \pm 1,20$; $14,1 \pm 1,34$ y $14,79 \pm 2,15$ kg planta⁻¹ respectivamente; siendo, superior al testigo. Del mismo modo, estos tratamientos presentaron valores significativamente superiores a los demás tratamientos en el rendimiento por hectárea con valores por encima de $21,39 \pm 1,80$ t ha⁻¹.

Aplicaciones foliares de micronutrientes incrementan la actividad fotosintética y el contenido de clorofila en hojas, influyendo directa o indirectamente en el aumento del grado Brix (Tagad

et al., 2018). Ghayekhloo y Sedaghatthoor (2015) observaron que aspersiones foliares combinadas de hierro, manganeso, zinc, mejora el contenido de azúcar, peso del fruto, y el porcentaje de materia seca. El uso de magnesio en el cultivo de trigo incrementa el rendimiento y calidad de su grano (Guo *et al.*, 2016). Ceylán *et al.* (2016) enfatizan la importancia del magnesio en la formación y el desarrollo de raíces y semillas. Además, intervienen en las funciones fisiológicas de nutrición y en los procesos de transformación metabólica, así como, la circulación y de respiración celular y en la formación de lípidos, carbohidratos y proteínas. Por otro lado, el hierro se ha relacionado con el crecimiento de la planta, emisión de brotes nuevos, la floración, circunferencia del tronco, síntesis de clorofila y calidad de la fruta (Janick, 2008). De forma similar el Fe mejora el rendimiento y la calidad del fruto (Silva *et al.*, 2009).

Por otro lado, Abunyewa y Mercer (2004) observaron en la producción de maíz en zonas semiáridas de África Occidental, un incremento significativo en el rendimiento entre 25% a 150% ($0,97$ y $2,2$ t ha⁻¹) con aplicaciones combinadas de mg y Zn frente al control. Así también, Atrass y Mohamed (2014) en el cultivo de brócoli en suelos arenosos con sistema de riego, mejoró el rendimiento, crecimiento vegetativo y la capacidad de almacenamiento de

Tabla 2. Prueba de Duncan de las variables comerciales agrupados en G-3.

Tratamiento	Calidad Extra (kg planta ⁻¹)	Rendimiento-Hectárea (t ha ⁻¹)
T1	$8,55 \pm 1,63$ de	$17,10 \pm 2,12$ d
T2	$7,96 \pm 2,77$ e	$17,70 \pm 2,06$ d
T3	$9,40 \pm 1,52$ cde	$18,08 \pm 1,45$ d
T4	$11,26 \pm 1,06$ bcde	$18,77 \pm 1,20$ cd
T5	$11,52 \pm 0,76$ abcd	$19,87 \pm 0,76$ bcd
T6	$10,86 \pm 2,42$ bcde	$19,75 \pm 1,52$ bcd
T7	$11,98 \pm 1,20$ abc	$21,39 \pm 1,80$ abc
T8	$14,10 \pm 1,34$ ab	$22,38 \pm 0,92$ ab
T9	$14,79 \pm 2,15$ a	$23,12 \pm 2,06$ a

Tratamientos: T1 (testigo), T2 (MgO 34%-500 mL 200 L⁻¹), T3 (MgO 34%-600 mL 200L⁻¹), T4 (Fe EDHA 6%-800 g 200L⁻¹), T5 (MgO 34%-500 mL 200 L⁻¹+ Fe EDHA 6%-800 g 200 L⁻¹), T6 (MgO 34%-600 mL 200 L⁻¹+ Fe EDHA 6%-800 g 200 L⁻¹), T7 (Fe EDHA 6%-1,12 kg 200 L⁻¹), T8 (MgO 34%-500 mL 200 L⁻¹+ Fe EDHA 6%-1,12 kg 200 L⁻¹), T9 (MgO 34%-600 mL 200L⁻¹+ Fe EDHA 6%-1,12 kg 200L⁻¹). Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$), “pruebas de rangos múltiples de Duncan”.

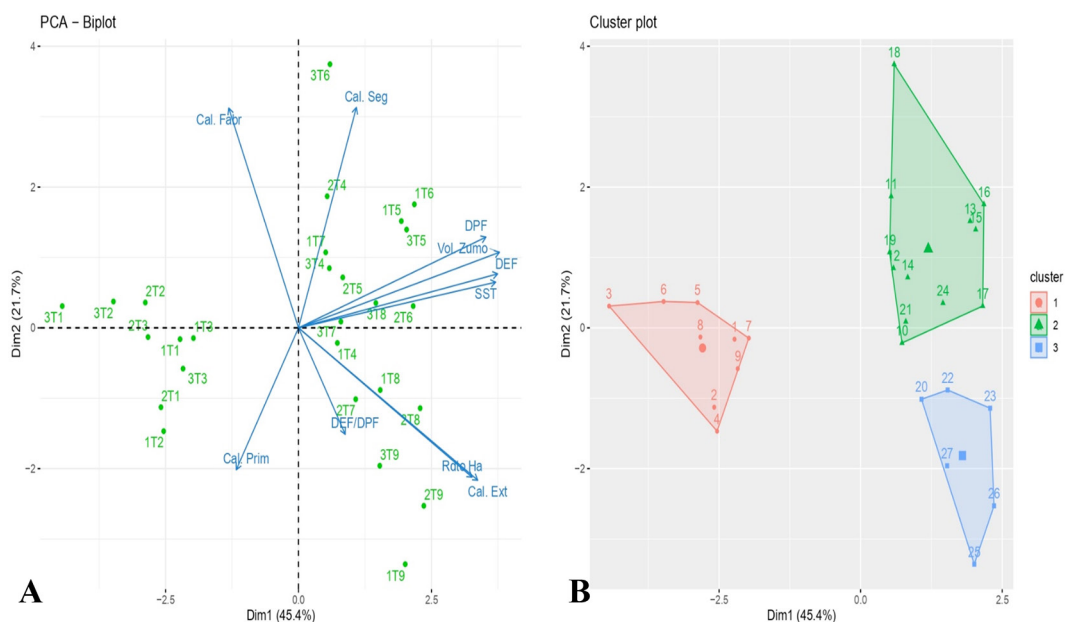


Figura 3. “Análisis multivariado de componentes principales” (ACP) y variables del estudio: Calidad extra (Cal. Ext.), calidad primera (Cal. Prim.), calidad segunda (Cal. Seg.), calidad fabrica (cal. Fabr.), rendimiento por hectárea (Rdto. Ha), Volumen zumo (Vol. Zumo), sólidos solubles totales (SST), diámetro ecuatorial del fruto (DEF), diámetro polar del fruto (DPF), relación (DEF/DPF), A) “Biplot de ACP”, B) Clúster plot del estudio.

las flores de brócoli con aplicaciones en conjunto de Fe (100 ppm) + mg (0,5% y/o 1%). Tagad *et al.* (2018) en el cultivo de lima (*Citrus limetta* Risso) encontraron los mejores resultados en el contenido de azúcares (Brix) con el T11 (GA3 @ 50ppm+ZnSO4 @ 1,0%+FeSO4 @ 1,0%) obteniendo un valor de 8,57 comparadas con T1 (control) con 6,5.

Según Mohammed *et al.* (2018), aplicaciones de óxido de boro $0,5 \text{ cm}^3 \text{ L}^{-1}$ (69,85 ppm) + Zn EDTA $0,05 \text{ g L}^{-1}$ (49 ppm) + Fe EDTA 1 g L^{-1} (130 ppm) en frutos de limón (*Citrus Meyer*), incrementaron la longitud y diámetro del fruto en 4,67 cm y 3,17 cm respectivamente. Así también, incrementaron el zumo de limón en $28,67 \text{ mL fruto}^{-1}$, comparadas con T1 (control) con $18,33 \text{ mL fruta}^{-1}$.

Singh *et al.* (2001) mencionan que aplicaciones foliares de B y mg en el cultivo de uva aumentan el peso de la baya; asimismo, el Fe incrementó el número de bayas/racimo. En mandarina “Kinnow” se han observado que aplicaciones foliares de MgSO_4 (0,6%) redujeron el porcentaje de caída de frutos al igual obtuvieron la máxima retención del fruto (Kaur *et al.*, 2016).

Según García-López *et al.* (2017), la calidad e inocuidad de los frutos es de suma importancia en el grado de aceptación del consumidor y su valor socioeconómico. Los tratamientos en combinación de magnesio y hierro superan rendimiento promedio nacional 19272 kg ha^{-1} (INEI, 2018).

Análisis económico

La mayor rentabilidad de estudio se observa en el tratamiento T9 con 4,70, seguido del tratamiento T8 con 4,53 siendo superiores al testigo con 3,33 (Tabla 3).

Conclusiones

Los tratamientos T8 y T9 mejoraron las variables de producción evaluados en el estudio. No obstante, el tratamiento T9 demostró reducir la calidad segunda del fruto mejorando la calidad extra y primera siendo estas de suma importancia en la comercialización del limón sutil, e incrementando el rendimiento y la relación B/C 4,70.

Tabla 3. Análisis económico de la aplicación foliar de magnesio y hierro en el rendimiento y beneficio del limón sutil.

Tratamiento	Costo de producción (\$)	Rendimiento (Kg ha ⁻¹)	Ingresos totales (\$)	Utilidad (\$)	Beneficio/Costo
T1	4660,91	17100	20178	15517	3,33
T2	4697,27	17697	20882	16185	3,45
T3	4704,55	18079	21333	16629	3,53
T4	4719,09	18769	22147	17428	3,69
T5	4755,45	19869	23445	18690	3,93
T6	4762,73	19748	23303	18540	3,89
T7	4742,36	21389	25239	20497	4,32
T8	4778,73	22381	26410	21631	4,53
T9	4786,00	23119	27280	22494	4,70

Tratamientos: T1 (testigo), T2 (MgO 34%-500 mL 200 L⁻¹), T3 (MgO 34%-600 mL 200 L⁻¹), T4 (Fe EDHA 6%-800 g 200 L⁻¹), T5 (MgO 34%-500 mL 200 L⁻¹ + Fe EDHA 6%-800 g 200 L⁻¹), T6 (MgO 34%-600 mL 200 L⁻¹ + Fe EDHA 6%-800 g 200 L⁻¹), T7 (Fe EDHA 6%-1,12 kg 200 L⁻¹), T8 (MgO 34%-500 mL 200 L⁻¹ + Fe EDHA 6%-1,12 kg 200 L⁻¹), T9 (MgO 34%-600 mL 200 L⁻¹ + Fe EDHA 6%-1,12 kg 200 L⁻¹).

Literatura Citada

- Abunyewa, A.A.; Mercie-Quarshie, H.
2004. Response to maize to magnesium and zinc application in the semi - arid zone of West Africa. *Asian Journal of Plant Sciences*, 3:1-5.
- Adnan, M.; Hayyat, M.S.; Imran, M.; ur Rehman, F.; Saeed, M.S.; Mehta, J.; Tampubolon, K.
2020. Impact of foliar application of magnesium fertilizer on agronomic crops: A Review. *Indian Journal of Pure Applied. Biosciences*, 8(6): 281-288.
- AOAC.
2006. Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemistry.
- Atrass, A.S.; Mohamed, O.
2014. Impact of foliar spraying with iron and magnesium on growth, yield, chemical constituents and storability of broccoli. *Annals of Agricultural Science Moshtohora*, 52(2): 261-272.
- Ceylan, Y.; Kutman, U.B.; Mengutay, M.; Cakmak, I.
2016. Magnesium applications to growth medium and foliage affect the starch distribution, increase the grain size and improve the seed germination in wheat. *PlantSoil*, 406(1/2): 145-156.
- Chanduví-García, R.; Sandoval-Panta, M.A.; Peña-Castillo, R.; Alva, J.J.; Álvarez, L.Á.; Quiroz-Calderón, M.V.; Morales-Pizarro, D.A.
2023. Biofertilizante y su Correlación entre Parámetros Productivos y de Calidad en Limón Sutil (*Citrus aurantifolia* Swingle). *Revista Terra Latinoamericana*, 41: 1-9.
- Díaz-Franco, A.; Alvarado-Carrillo, M.; Alejandro-Allende, F.; Ortiz-Chairez, F.E.
2017. Uso de abono orgánico y micorriza arbuscular en la producción de repollo. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 16(1):15-21.
- FAO.
2020. Cultivos y productos ganaderos. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura 2020. Disponible en: <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL/visualize>
- García-López, F.M.; Herrera-Corredor, J.A.; Pérez-Sato, J.A.; Alariste-Pérez, I.; Contreras-Oliva, A.
2017. Relación entre color y parámetros fisicoquímicos del limón persa (*Citrus latifolia* T.) del centro de Veracruz, México. *Agroproductividad*, 10(9): 9-14.
- Ghayekhloo, S.; Sedaghatthoor, S.
2015. Changes in quantitative and qualitative traits of miagava tangerine (*Citrus reticulata* L.) as affected by Fe, Zn and Mn micronutrients foliar application. *International Journal of Biosciences*, 6(1): 218-227.
- Guo, W.; Nazim, H.; Liang, Z.; Yang, D.
2016. Magnesium deficiency in plants: An urgent problem. *The Crop Journal*, 4(2); 83-91.
- INDECOPI.
2005. Norma Técnica Peruana - NTP 011.006 2005. Instituto Nacional de Defensa de la Competencia de la Protección de la Propiedad Intelectual. Perú.
- INEI.
2018. Costo de producción para actividad: agricultura, ganadería, caza y silvicultura en base a la encuesta nacional agraria (ENA-2018). Instituto Nacional de Estadística e Informática. Perú. 263 p.
- Janick, J.; Paull, R.E.
2008. The encyclopedia of fruit and nuts. CABI. Kaur, N., Bons, H.K., Rattanpal, H.S., & Kaur, R. 2016. Manipulation of source sink relationship for management of fruit drop in kinnow mandarin. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*, 9(3); 403.

- Mohammed, N.; Malchoul, G.; Aziz Bousissa, A.
2018. Effect of foliar spraying with B, Zn and Fe on flowering, fruit set and physical traits of the lemon fruits (*Citrus Meyeri*). SSRG International Journal of Agriculture & Environmental Science, 5(2); 50-57.
- Nandita, K.; Kundu, M.; Rani, R.; Khatoon, F.; Kumar, D.
2020. Foliar feeding of micronutrients: An essential tool to improve growth, yield and fruit quality of sweet orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) cv. Mosambi under non-traditional citrus growing track. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 9(3); 473-483.
- Puente-Ramírez, J.V.; Rivera-Ortiz, P.; Silva-Espinosa, J.H.; Andrade-Limas, E.
2022. Quelato EDDHA para corregir la deficiencia de hierro en árboles de limón italiano (*Citrus limon* (L.) Osbeck). Terra Latinoamericana, 40. DOI: /10.28940/terra.v40i0.926
- Reyes-Pérez, J.J.; Enríquez-Acosta, E.A.; Ramírez-Arrebato, M.Á.; Rodríguez-Pedroso, A.T.; Rivero-Herrada, M.
2019. Respuesta de plántulas de cultivares de tomate a la aplicación de quitosano. Centro Agrícola, 46(4): 21-29.
- Samuelson, P.A.; Nordhaus, W.D.
2009. Economía, 19 Ed. McGraw-Hill. Madrid, España. 716p.
- SIEA.
2022. Valor de la producción (VBP) agropecuaria- a nivel productos, Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. Sistema Integrado de Estadística Agrarias. Perú.
- Silva-Stenico, M.E.; Pacheco, F.T.H.; Pereira-Filho, E.R.; Rodrigues, J.L.M.; Souza, A.N.; Etchegaray, A.; Tsai, S.M.
2009. Nutritional deficiency in citrus with symptoms of citrus variegated chlorosis disease. *Brazilian Journal of Biology*, 69: 859-864.
- Singh, B.; Usha, K.
2001. Effect of macro and micro-nutrient spray on fruit yield and quality of grape (*Vitis vinifera* L.) cv. Perlette. In International Symposium on Foliar Nutrition of Perennial Fruit Plants 594. pp. 197-202.
- Tagad, S.S.; Patil, M.B.; Patil, S.G.; Deshpande, D.P.
2018. Effect of foliar application of plant growth regulators and micronutrients on growth and yield parameters of acid lime (*Citrus aurantifolia* L.) cv. Sai Sarbati. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(5): 741-744.
- Vegas, U.; Narrea, M.
2011. Manejo integrado del cultivo de limón: jornada de capacitación técnica. Universidad Nacional Agraria La Molina- Agrobanco. Piura, Perú. 43 p.

